



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISIS DAN PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA
PROSES PRODUKSI ALUMINIUM TERHADAP
PERFORMA TUNGKU REDUKSI DI
PT INALUM (PERSERO)**

**RIYAN YEFTA PURBA
NRP. 1113 100 022**

**Dosen Pembimbing
Endarko, M.Si., Ph.D.
NIP. 19690904 199203.1.003**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISIS DAN PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA
PROSES PRODUKSI ALUMINIUM TERHADAP
PERFORMA TUNGKU REDUKSI DI PT INALUM
(PERSERO)**

**RIYAN YEFTA PURBA
NRP.1113 100 022**

**Dosen Pembimbing
Endarko, M.Si., Ph.D.**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**ANALYSIS AND PREDICTION OF CURRENT
EFFICIENCY IN ALUMINIUM PRODUCTION PROCESS
TOWARD THE PERFORMANCE OF REDUCTION CELLS
AT PT INALUM (PERSERO)**

**RIYAN YEFTA PURBA
NRP.1113 100 022**

**Supervisor
Endarko, M.Si., Ph.D.**

**PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

**ANALISIS DAN PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA
PROSES PRODUKSI ALUMINIUM TERHADAP
PERFORMA TUNGKU REDUKSI
DI PT INALUM (PERSERO)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi
Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada
Bidang Studi Fisika Instrumentasi
Program Studi S1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh :

RIYAN YEFTA PURBA
NRP. 1113 100 022

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

**ANALISIS DAN PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA
PROSES PRODUKSI ALUMINIUM TERHADAP
PERFORMA TUNGKU REDUKSI
DI PT INALUM (PERSERO)**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

**RIYAN YEFTA PURBA
NRP. 1113 100 022**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Endarko, M.Si., Ph.D
NIP. 19741117 199903.1.001


.....
(Pembimbing I)

Surabaya, 24 Januari 2017



ANALISIS DAN PREDIKSI EFISIENSI ARUS PADA PROSES PRODUKSI ALUMINIUM TERHADAP PERFORMA TUNGKU REDUKSI DI PT INALUM (PERSERO)

Nama : Riyan Yefta Purba
NRP : 1113 100 022
Pembimbing : Endarko, M.Si., Ph.D.

Uraian Singkat

PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero) merupakan perusahaan produksi aluminium terbesar di Indonesia yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan aluminium di dunia. Hal yang harus dipertimbangkan dalam membangun smelter aluminium skala besar yaitu energi listrik yang dimiliki oleh perusahaan serta efisiensi arus yang dapat dicapai perusahaan pada saat proses produksi berlangsung. Saat ini efisiensi arus di PT Inalum (Persero) hanya 92,2% dan sangat tertinggal dengan smelter aluminium lainnya. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi arus adalah dengan melakukan analisis metode pada produksi yang sedang beroperasi kemudian melakukan prediksi efisiensi arus untuk mengetahui ketepatan analisis yang dilakukan.

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari PT Inalum (Persero). Penelitian ini menggunakan variabel yang mempengaruhi efisiensi arus diantaranya adalah temperatur bath, Feeding AlF_3 , keasaman bath, dan kandungan CaF_2 . Kemudian untuk mengetahui pengaruh variabel bebas dan variabel yang paling signifikan mempengaruhi efisiensi arus digunakan metode Multiple Linear Regression. Selanjutnya digunakan metode Winters untuk mengetahui prediksi efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi.

Hasil yang didapat pada penelitian ini adalah temperatur bath, Feeding AlF_3 , keasaman bath, dan konsentrasi CaF_2 , berpengaruh terhadap efisiensi arus. Dari keempat variabel bebas yang digunakan diperoleh variabel pemasukan AlF_3 paling

mempengaruhi efisiensi arus pada tungku reduksi sebesar 40,90%. Pada proses penghalusan data time series untuk efisiensi arus diperoleh konstanta terbaik untuk α , β , dan γ yaitu berturut-turut sebesar 0,9; 0,6; dan 0,1. Untuk menghasilkan prediksi efisiensi arus terbaik pada hari berikutnya dapat dilakukan dengan prediksi setiap 7 hari berikutnya.

Kata kunci: Efisiensi arus, metode Multiple Linear Regression, metode Winters, smelter aluminium

ANALYSIS AND PREDICTION OF CURRENT EFFICIENCY IN ALUMINIUM PRODUCTION PROCESS TOWARD THE PERFORMANCE OF REDUCTION CELLS AT PT INALUM (PERSERO)

Name : Riyan Yefta Purba
NRP : 1113100022
Supervisor : Endarko, M.Si., Ph.D.

Abstract

PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero) is the largest aluminum production company in Indonesia which was built to meet the needs of aluminum in the world. The thing to consider in building large-scale aluminum smelter that is electrical energy which is owned by the company and the current efficiency can be achieved by the company during the production process. Currently, the current efficiency in PT Inalum (Persero) is only 92.2% and so far behind the other aluminum smelter. One way to improve the current efficiency is to perform the analysis on a production method when the system is operating afterward predicts the current efficiency to get the accuracy of the analysis.

This study uses secondary data from PT Inalum (Persero). This study uses the variables that affect the current efficiency of which is bath temperature, Feeding AlF_3 , bath acidity, and the content of CaF_2 . Multiple Linear Regression method was used to analyze and determine the effect of independent variables and the most significant variable affecting the current efficiency. Furthermore, Winters method is used to predict the current efficiency on the production system when system is operating.

The results showed that the bath temperature, Feeding AlF_3 , bath acidity, and CaF_2 concentration could be influenced to the current efficiency. Of the four independent variables used were obtained AlF_3 income variables most affect the current efficiency of a furnace reduction of 40.90%. In the smoothing process of time series data for the best constant current efficiency

obtained for α , β , and γ are 0.9, 0.6, and 0.1, respectively To produce the best current efficiency predictions on the next day can be done with the predictions of every next 7 days.

Keywords: Current efficiency, Multiple Linear Regression method, Winters method, aluminium smelter

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Peneitian Tugas Akhir yang berjudul “ **Analisis dan Prediksi Efisiensi Arus pada Proses Produksi Aluminium Terhadap Performa Tungku Reduksi di PT Inalum (Persero)**”.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, telah banyak daya, upaya, dan perjuangan yang dilakukan oleh penulis. Atas bantuan, dorongan dan juga bimbingan dari berbagai pihak maka akhirnya penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tugas Akhir ini dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih karunia yang telah diberikan kepada penulis.
2. Orang tua penulis Raja Purba dan Kinta Rusmina Sihombing, kakak penulis Grace W. A. Purba, S.Pd, adik penulis Nurmaida C. Purba dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan positif untuk penulis.
3. Lastriani Simbolon terkasih yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan positif untuk penulis.
4. Bapak Endarko, M.Si., Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa tulus memberi motivasi dan ilmu dalam membimbing penulis.
5. Ibu Dr. Dra. Melania Suweni Muntini, MT, selaku dosen wali yang senantiasa tulus memberi motivasi dan ilmu dalam membimbing penulis.
6. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Bapak Faisal Hidayat dari PT Inalum (Persero) yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam membimbing penulis.

8. Bapak Besron Pane dari PT Inalum (Persero) yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam membimbing penulis
9. Teman-teman dari UII, ITB, ITS yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan semangat dalam menyelesaikan penelitian ini
10. Teman-teman Supernova (Fisika angkatan 2013), atas kekeluargaannya selama ini yang selalu terjalin.
11. Semua pihak yang turut membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis berharap laporan penelitian Tugas Akhir ini nantinya akan dapat berguna dan dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam peningkatan efisiensi arus dan produksi di smelter aluminium.

Surabaya, 24 Januari 2017

Riyan Yefta Purba
NRP. 1113 100 022

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
URAIAN SINGKAT	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Penelitian Efisiensi Arus Di Smelter Aluminum	9
2.2 Efisiensi Arus pada Smelter Aluminium	12
2.3 Prediksi	14
2.4 Analisis Regresi	17
2.4.1 Regresi Linier Sederhana	17
2.4.2 Regresi Linier Berganda	18
2.5 Pemilihan Model Regresi Terbaik	18
2.6 Metode Exponential Smoothing	20
2.6.1 Metode Pemulusan Eksponensial Satu Parameter	20
2.6.1.1 Metode Pemulusan Eksponensial Tunggal	21
2.6.1.2 Metode Pemulusan Eksponensial Ganda Satu Parameter Dari Brown	21
2.6.1.3 Metode Pemulusan Eksponensial Tripel Satu Parameter Dari Brown	22
2.6.2 Metode Pemulusan Eksponensial Dua Parameter	23

2.6.2.1 Metode Pemulusan Eksponensial Tunggal Pendekatan Adiptif	23
2.6.2.2 Metode Pemulusan Eksponensial Ganda Dua Parameter Dari Holt	24
2.6.3 Metode Pemulusan Eksponensial Tiga Parameter	24
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tahap Identifikasi	28
3.1.1 Alat Dan Bahan	28
3.1.2 Variabel Penelitian	29
3.2 Tahap Pengumpulan Data	30
3.2.1 Proses Pengambilan Data	30
3.2.2 Data Penelitian	31
3.3 Tahap Pemilihan Metode	34
3.3.1 Pemilihan Metode Multiple Linear Regression	34
3.3.2 Pemilihan Metode Winters	35
3.4 Tahap Analisis dan Pengolahan Data	36
3.4.1 Pengolahan Data Untuk Mengetahui Variabel yang Paling Signifikan Mempengaruhi Efisiensi Arus	37
3.4.2 Pengolahan Data Untuk Mengetahui Prediksi Efisiensi Arus Pada Sistem Produksi yang Sedang Beroperasi	42
3.5 Tahap Analisa dan Kesimpulan	43
BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Pengolahan Data Untuk Mengetahui Variabel yang Paling Signifikan Mempengaruhi Efisiensi Arus	45
4.1.1 Signifikansi Model	45
4.1.2 Asumsi Klasik Regresi Linier	50
4.1.3 Interpretasi Model	54
4.1.4 Koefisien Determinasi R^2	57
4.1.5 Variabel yang Paling Signifikan	57
4.2 Hasil Pengolahan Data Untuk Mengetahui Prediksi Efisiensi Arus Pada Sistem Produksi Yang Sedang Beroperasi	59
4.2.1 Konstanta α , β , dan γ yang Optimum	59
4.2.2 Prediksi Efisiensi Arus Terbaik	62

4.3 Keterkaitan Variabel Signifikan Terhadap Prediksi Efisiensi Arus	64
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	
RIWAYAT PENULIS	

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi metode peramalan	15
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	28
Gambar 3.2	Gedung Reduksi PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero)	31
Gambar 3.3	Grafik <i>time series</i> efisiensi arus	31
Gambar 3.4	Grafik <i>time series</i> Temperratur <i>Bath</i>	32
Gambar 3.5	Grafik <i>time series</i> <i>Feeding</i> AlF_3	32
Gambar 3.6	Grafik <i>time series</i> keasaman <i>Bath</i>	33
Gambar 3.7	Grafik <i>time series</i> kandungan CaF_2	33
Gambar 3.8	Grafik data pembanding prediksi efisiensi pada 1 Juli hingga 31 Agustus 2016	34
Gambar 3.9	<i>Input</i> dan <i>Output</i> untuk mengetahui variabel signifikan yang mempengaruhi efisiensi arus	37
Gambar 3.10	<i>Input</i> dan <i>Output</i> untuk mengetahui efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi.	37
Gambar 4.1	Grafik normal P-P Plot	51
Gambar 4.2	Grafik <i>scatter plot</i> uji heterokedastisitas	53
Gambar 4.3	Hasil pemulusan efisiensi arus	62
Gambar 4.4	Hasil pemulusan efisiensi arus terbaik	63

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian efisiensi arus pada elektrolisis aluminium	9
Tabel 3.1	Data variabel penelitian	29
Tabel 4.1	Hasil uji <i>overall</i>	45
Tabel 4.2	Hasil uji parsial	47
Tabel 4.3	Hasil toleransi dan VIF pada uji multikolinearitas	52
Tabel 4.4	Hasil koefisien model	54
Tabel 4.5	Hasil koefisien beta	58
Tabel 4.6	Hasil MAD dan MAPE dengan variasi konstanta α	60
Tabel 4.7	Hasil MAD dan MAPE dengan variasi konstanta β	60
Tabel 4.8	Hasil MAD dan MAPE dengan variasi konstanta γ	60
Tabel 4.9	Kesalahan prediksi pada variasi jumlah hari prediksi	63

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data <i>time series</i> efisiensi arus
Lampiran 2	Data <i>time series</i> temperatur <i>bath</i>
Lampiran 3	Data <i>time series</i> <i>Feeding</i> AlF_3
Lampiran 4	Data <i>time series</i> keasaman <i>bath</i> .
Lampiran 5	Data <i>time series</i> kandungan CaF_2
Lampiran 6	Data <i>time series</i> pembandingan prediksi efisiensi pada 1 Juli hingga 31 Agustus 2016
Lampiran 7	Hasil pengolahan data menggunakan SPSS 23
Lampiran 8	Hasil MAD dan MAPE pada pengolahan data <i>time series</i> efisiensi arus
Lampiran 9	Perhitungan MAD pada variasi jumlah hari prediksi
Lampiran 10	Perhitungan MAPE pada variasi jumlah hari prediksi

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan logam yang keberadaannya sangat berlimpah dengan kandungan sekitar 8% dari seluruh massa zat padat di Bumi. Aluminium tidak ditemukan secara alami di Bumi karena bersifat reaktif dan cenderung membentuk ikatan kimia dengan energi tinggi terhadap oksigen (Nurdin, 2015). Bijih bauksit merupakan bahan dasar yang diperoleh dari area tambang bauksit untuk diolah menjadi aluminium. Bijih bauksit diolah dengan menggunakan proses Bayer hingga dihasilkan alumina. Menurut Departemen perindustrian RI (1982), hampir 95% alumina di dunia dibuat dari bauksit sedangkan sisanya diperoleh dari berbagai material yang mengandung Aluminium oksida seperti Alunite dan Nepheline. Kemudian dengan menggunakan proses Hall-Heroult, alumina kembali diolah hingga dihasilkan aluminium murni dalam bentuk aluminium batangan (ingot) (Kementrian Perindustrian RI, 1982).

Saat ini kebutuhan aluminium semakin meningkat karena aluminium memiliki kelebihan seperti sifat yang tahan karat, titik lebur yang relatif rendah dibandingkan logam jenis lain seperti besi dan baja, memiliki daya hantar listrik yang baik, mudah dilakukan perombakan bentuk, dan tahan terhadap panas yang tinggi (Notosuwarso, 2003). Kebutuhan aluminium tidak hanya terbatas pada negara yang mempunyai teknologi dan tingkat pendapatan yang tinggi seperti di negara maju tetapi perkembangan aluminium juga terdapat pada negara berkembang walaupun komposisi pemakaian yang berbeda. Aluminium sering digunakan sebagai komposisi pembuatan transportasi, bangunan konstruksi, kelistrikan, alat-alat rumah tangga, peti kemas dan pembungkus, dll. Penggunaan aluminium yang semakin meningkat pada berbagai bidang mengakibatkan permintaan aluminium meningkat (Kementrian Perindustrian RI, 1982).

Banyak negara yang membangun pabrik smelter aluminium guna memenuhi kebutuhan aluminium. PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero) merupakan perusahaan produksi aluminium terbesar di Indonesia yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan aluminium di berbagai negara. Perusahaan tersebut terletak di Kuala Tanjung propinsi Sumatera Utara dan mulai beroperasi sejak tahun 1983. Dalam menjalankan produksinya, PT Inalum (Persero) beroperasi dengan menggunakan proses elektrolisa Hall – Herault dengan menggunakan jenis tungku *Prebaked Anode Furnace* (PAF) (PT Inalum, 2016). Perusahaan tersebut merupakan suatu usaha patungan antara pemerintah Indonesia dengan swasta Jepang dan sejak 21 April 2014 dan resmi menjadi Badan Usaha Milik Negara ke-141 sesuai dengan Pemerintah No.26 tahun 2016 (PT Inalum, 2016).

Terdapat indikator penting yang harus dipertimbangkan dalam membangun smelter aluminium skala besar yaitu kapasitas daya terpasang atau energi listrik yang dimiliki oleh perusahaan serta efisiensi arus yang dapat dicapai perusahaan pada saat proses produksi berlangsung (Al-Mejali, 2015). Efisiensi arus di smelter aluminium dinyatakan *Current Efficiency* (CE, dalam %). Saat ini tungku reduksi di PT Inalum (Persero) menggunakan arus listrik pada *potline* 1 sebesar 201 kA serta pada *potline* 2 dan *potline* 3 sebesar 192 kA pada dengan tegangan tiap pot reduksi sekitar 4,3 volt. Perusahaan tersebut memiliki 510 tungku reduksi yang dibagi menjadi 3 gedung produksi dengan rata rata aluminium yang dihasilkan 1,4 ton per hari dan efisiensi arus sebesar 92,2% (PT Inalum, 2016).

Selain memperbesar sumber energi listrik yang akan digunakan pada proses produksi, peningkatan efisiensi arus merupakan hal penting yang harus dilakukan untuk meningkatkan hasil produksi (PT Inalum, 2016). Efisiensi arus secara tidak langsung akan mempengaruhi kemurnian aluminium. Efisiensi arus yang tinggi akan menghasilkan aluminium dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Hal tersebut diketahui berdasarkan pengalaman PT Inalum (Persero) bahwa tungku reduksi yang bermasalah saat beroperasi akan menghasilkan efisiensi arus yang

kurang baik. Dalam pasar internasional sebagian besar konsumen menggunakan efisiensi arus pada smelter aluminium sebagai pertimbangan dalam membeli aluminium dari perusahaan tersebut. Sebab aluminium yang dihasilkan dari efisiensi arus yang tinggi mengandung sedikit unsur pengotor dominan yaitu besi dan silika. Aluminium yang sedikit mengandung residu baik untuk pembuatan pesawat terbang dan konstruksi bangunan. Jika dibandingkan dengan smelter aluminium di negara lainnya, PT Inalum (Persero) masih mencapai efisiensi arus yang rendah sebab perusahaan besar seperti Rusia Aluminium (Rusal) dapat mencapai efisiensi arus sebesar 93,5 %, Trimet France dengan efisiensi arus sebesar 94,5% bahkan Dubai Aluminium (Dubal Co.ltd.) yang berada di Dubai, efisiensi arus yang dapat dicapai pada tahun 2015 sebesar 95,1% (Whitfield, 2009).

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi arus pada smelter aluminium. Beberapa cara diantaranya adalah dengan menambah sumber daya manusia (*man power*) untuk menjaga proses produksi tetap stabil, melakukan peningkatan teknologi yang digunakan dalam proses produksi, menggunakan bahan baku dan bahan pendukung lainnya yang memiliki kualitas baik, melakukan analisa metode produksi yang telah diterapkan di perusahaan, serta melakukan investasi dengan cara menambah tungku reduksi atau menaikkan kapasitas daya terpasang (PT Inalum, 2016). Umumnya cara yang lebih sering digunakan adalah melakukan analisa metode dalam proses produksi yang telah berjalan. Hal tersebut dilakukan sebab metode dan proses yang tepat pada produksi aluminium akan meningkatkan efisiensi arus.

Menurut PT Inalum (Persero) beberapa gejala fisis yang mempengaruhi efisiensi arus adalah temperatur, jarak anoda-katoda (*Anode Cathode Distance* - ACD), komposisi larutan elektrolit (*bath*), dan rapat arus (PT Inalum, 2016). Temperatur operasi tinggi akan mempercepat laju reaksi kabut metal dengan karbon dioksida. Jika tungku reduksi dioperasikan pada jarak anoda-katoda yang tidak normal, maka transfer kabut metal dari katoda ke anoda akan meningkat. Komposisi material dalam

larutan elektrolit, contohnya yaitu konsentrasi AlF_3 yang kecil pada larutan elektrolit (*bath*) menyebabkan efisiensi arus menurun serta tungku reduksi dioperasikan dengan rapat arus yang rendah menyebabkan efisiensi arus rendah (PT Inalum, 2016). Selain gejala fisis tersebut, menurut Yan Feiya dkk dalam penelitian berjudul “*In Depth Analysis of Energy-Saving and Current Efficiency Improvement of Aluminum Reduction Cells*” mengatakan bahwa desain dari anoda pada tungku reduksi mempengaruhi efisiensi arus (Feiya, 2012). Dari faktor tersebut tentunya dibutuhkan suatu analisa yang dapat menjelaskan bahwa faktor dominan apa yang sangat berpengaruh terhadap efisiensi arus.

Analisis penyebab efisiensi arus pada smelter aluminium yang tidak optimal telah banyak dilakukan oleh akademisi di berbagai universitas, peneliti, hingga perusahaan smelter aluminium. Dubai aluminium (Dubal Co.ltd) telah berhasil melakukan peningkatan efisiensi arus pada *Potline 3* di pabrik reduksi perusahaannya (Whitfield, 2009). Dalam proyek Dubal yang berjudul “*Increase Current Efficiency Potline 3*” memulai proyek dengan mencatat permasalahan yang terjadi pada perusahaan kemudian menentukan target dari proyek yang ingin dicapai. Permasalahan pada perusahaan adalah efisiensi arus yang kurang baik. Lalu dilakukan pengumpulan dan pengambilan data yang berhubungan dengan efisiensi arus.

Dari beberapa faktor yang telah dipertimbangkan kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan regresi linier berganda (Whitfield, 2009). Dari analisa tersebut diperoleh bahwa temperatur larutan elektrolit (*bath*) yang tinggi dan resistansi jarak anoda-katoda (*Anode Cathode Distance/ACD*) merupakan dua faktor utama yang berpengaruh terhadap efisiensi arus di perusahaan Dubai Aluminium (Whitfield, 2009). Dari dua faktor tersebut diambil tindakan dengan menjaga temperatur *bath* pada jarak normal dan mengontrol resistansi jarak anoda-katoda agar tidak di bawah $14,5\mu\Omega$. Kemudian dilakukan prediksi dan diperoleh efisiensi arus meningkat (Whitfield, 2009). Selain itu, Asbjørn Solheim dkk dalam jurnalnya yang berjudul “*Current*

efficiency in laboratory aluminium cells” melakukan percobaan terhadap komposisi material serta efek yang terjadi ketika proses elektrolisa terhadap efisiensi arus (Solheim, 2011). Dari percobaan Asbjørn Solheim dkk diperoleh bahwa besar konsentrasi dari material yang digunakan dan temperatur *bath* sangat mempengaruhi efisiensi arus pada smelter aluminium.

Berdasarkan penelitian sebelumnya maka akan dilakukan analisis metode produksi. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis efisiensi arus pada tungku reduksi di PT Inalum (Persero) untuk mengetahui hubungan variabel bebas (temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 ke dalam *bath*, keasaman *bath*, dan konsentrasi CaF_2) terhadap variabel tergantung yaitu efisiensi arus serta variabel dominan yang mempengaruhi efisiensi arus. Kemudian penelitian tugas akhir ini akan dilakukan prediksi efisiensi arus pada masa mendatang guna mencegah kerugian bagi perusahaan. Diharapkan dari penelitian dan proyek sebelumnya yang telah dilakukan dalam peningkatan efisiensi arus di smelter aluminium, menjadi acuan untuk mengetahui penyebab utama yang mempengaruhi efisiensi arus di PT Inalum (Persero) dalam upaya untuk meningkatkan produksi dan kualitas aluminium.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dirumuskan permasalahan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh temperatur *bath*, *Feeding* AlF_3 , keasaman *bath*, dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus?
2. Bagaimanakah prediksi efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian tugas akhir penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hubungan variabel bebas dan variabel tergantung antara temperatur *bath*, *Feeding* AlF_3 , keasaman

bath, dan konsentrasi CaF_2 terhadap efisiensi arus serta mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi efisiensi arus.

2. Mengetahui prediksi efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini lebih spesifik, maka permasalahan ini dibatasi hanya pada hal-hal berikut ini:

- Variabel penelitian yaitu temperatur *bath*, *Feeding* AlF_3 , keasaman *bath*, dan konsentrasi CaF_2 , dan efisiensi arus.
- Data sekunder berasal dari PT Inalum (Persero).
- Menyelesaikan permasalahan pertama digunakan metode *Multiple Linear Regression*.
- Menyelesaikan permasalahan kedua digunakan metode *Winters*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini adalah memberikan informasi mengenai pengaruh variabel bebas terhadap efisiensi arus, memberikan informasi mengenai variabel dominan yang mempengaruhi efisiensi arus secara statistik deskriptif dan secara fisis, memberikan informasi prediksi efisiensi arus pada masa yang akan datang dengan sistem produksi yang ada saat ini serta dapat menjadi masukan untuk perusahaan khususnya terhadap efisiensi arus di PT Inalum (Persero) guna mencegah kerugian yang terjadi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi alat dan bahan, data penelitian, *software* yang digunakan dalam penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab IV – Analisa Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini, yaitu analisis variabel dominan yang mempengaruhi efisiensi arus beserta gejala fisis yang berkaitan dari variabel yang telah ditentukan terhadap efisiensi arus dan hasil prediksi efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi.
5. Bab V – Penutup, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Efisiensi Arus Di Smelter Aluminium

Grjotheim (1985) menyatakan bahwa efisiensi arus dari tungku reduksi tidak mungkin 100%. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor teknis maupun reaksi kimia yang terjadi saat elektrolisa alumina yang menyebabkan efisiensi arus menjadi menurun. Saat ini rata-rata efisiensi arus pada smelter aluminium sekitar 94 % tetapi nilai tersebut relatif rendah (Murgulescu, 2015). Telah banyak dilakukan analisis efisiensi arus tetapi pada setiap analisis yang dilakukan diperoleh bahwa faktor yang mempengaruhi berbeda-beda. Tabel 2.1 adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan efisiensi arus dalam elektrolisa alumina menjadi aluminium.

Tabel 2.1 Penelitian efisiensi arus pada elektrolisa aluminium.

Peneliti	Judul Penelitian	Faktor mempengaruhi efisiensi arus dan solusi yang dilakukan
Whitfield, 2009	<i>Increase Current Efficiency of Potline 3 (P/L-3)</i>	Temperatur tinggi dan jarak anoda - katoda (<i>Anode-Cathode Distance/ ACD</i>) Solusi: Menjaga temperatur dalam rentang normal (940 °C-960 °C), menjaga ADC tidak di bawah 14,5 $\mu\Omega$
Feiya, dkk 2012	<i>In Depth Analysis of Energy-Saving and Current Efficiency</i>	Desain dari anoda pada tungku reduksi Solusi: Optimasi desain anoda

	<i>Improvement of Aluminum Reduction Cells</i>	
Gusberti dkk	<i>Modelling The Aluminium Smelting Cell Mass and Energy Balance – a Tool Based on The 1st Law of Thermodynamics</i>	Desain tungku reduksi mempengaruhi rapat arus, penggantian anoda, jarak anoda-katoda (<i>Anode-Cathode Distance/ ACD</i>), pengambilan metal Solusi: Optimasi proses
Dion	<i>Sodium Content in Aluminium and Current Efficiency – Correlation Through</i>	Temperatur <i>bath</i> , rapat arus, <i>pot noise</i> , % alumina dalam <i>Bath</i> , % AlF_3 dalam <i>Bath</i> Solusi: Optimasi kandungan Natrium yang terdapat diantara lumpur dan metal
Murgelescu, 2015	<i>Influence of The Operating Parameters Over The Current Efficiency and Corrosion Rate in The Hall–Heroult Aluminum Cell With Tin Oxide Anode Substrate Material</i>	Jarak anoda-katoda (<i>Anode-Cathode Distance/ ACD</i>), temperatur <i>bath</i> (<i>Bath Temperature/ BT</i>), rapat arus Solusi: Nilai optimum $\text{ACD} = 2\text{-}3\text{ cm}$, temperatur <i>bath</i> = $940\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $960\text{ }^{\circ}\text{C}$, rapat arus = $0,7\text{-}0,8\text{ Acm}^{-2}$
Horvath, 2013	<i>Laboratory and Plant Measurements of Anode Process in Aluminium electrolysis</i>	Reaksi balik sehingga 1. CO_2 kembali bereaksi dengan aluminium; 2. Efek depolarisasi yang menyebabkan rapat arus berubah;

		<p>3. Natrium Florida yang dihasilkan pada proses di katoda akan di transfer kembali ke aluminium cair</p> <p>Solusi: Operasi harus stabil, menjaga tegangan antara <i>bath</i> dan anoda di 1,5-2,5v, kontrol temperatur <i>bath</i>, dan jarak anoda-katoda (<i>Anode-Cathode Distance/ ACD</i>)</p>
Tikasz, 1994	<i>Modeling of Aluminum Extraction Process, Case study Arak Aluminum Company</i>	<p>Temperatur <i>bath</i>, tegangan tungku reduksi</p> <p>Solusi: Optimasi kandungan CaF_2 dan alumina terhadap temperatur <i>bath</i> dan tegangan tungku reduksi</p>

Sedangkan menurut PT Inalum (Persero), beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi arus adalah sebagai berikut:

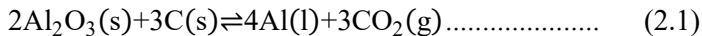
1. Temperatur operasi harus dijaga tetap stabil karena sangat mempengaruhi efisiensi arus. Bila temperatur operasi terlalu tinggi, maka akan mempercepat laju reaksi kabut metal atau reaksi balik, namun bila temperatur operasi terlalu rendah, maka *bath* tidak dapat melarutkan Al_2O_3 sehingga Al_2O_3 menjadi lumpur.
2. Jika tungku reduksi dioperasikan pada jarak interpoler yang dekat maka transfer kabut metal dari katoda ke anoda meningkat.
3. Komposisi *bath* dimana elektrolit yang banyak mengandung natrium florida akan meningkatkan efisiensi arus karena *bath* yang seperti ini biasanya mengandung AlF_3 , LiF , MgF_2 , dan CaF_2 adalah aditif yang dapat menaikkan efisiensi arus.

Konsentrasi AlF_3 yang kecil pada *bath* akan menurunkan efisiensi arus.

4. Rapat arus yang tinggi akan menaikkan efisiensi arus, karena kuantitas *metal* (aluminium) hilang yang terlarut ke *bath* tidak meningkat secara proporsional terhadap rapat arus.

2.2 Efisiensi Arus Pada Smelter Aluminium

Industri aluminium didasarkan proses Hall-Heroult dengan reaksi elektrolisis alumina (Al_2O_3) di dalam larutan elektrolit yaitu kriolit (Na_3AlF_6). Dibutuhkan empat ton bauksit untuk menghasilkan dua ton alumina dan dua ton alumina dapat menghasilkan satu ton aluminium. Secara alami aluminium memiliki titik lebur sebesar 2040°C . Untuk menghasilkan aluminium, pada tungku reduksi harus terdapat sekitar 2% hingga 8% alumina sebagai bahan utama dalam proses ini. Alumina ini akan terlarut pada kriolit dimana terdapat sekitar 80 % hingga 90 % kriolit dalam tungku reduksi. Untuk menurunkan titik lebur diperlukan bahan pendukung tambahan seperti AlF_3 dan CaF_2 sehingga titik leburnya menjadi 960°C (Arab-Ameri, 2013). Adapun reaksi yang terjadi dalam proses ini adalah sebagai berikut:



Dalam pot reduksi, kristal alumina dilarutkan pada lelehan kriolit sehingga dihasilkan larutan elektrolit yang akan menghantarkan listrik dari anoda menuju katoda dengan tegangan 4-6 volt dan arus sebesar 100.000-450.000 ampere dialirkan melalui larutan sehingga akan terjadi reaksi yang akan memutuskan ikatan aluminium dengan oksigen pada molekul alumina. Oksigen yang dibebaskan terikat pada anoda sehingga membentuk karbon dioksida. Aluminium murni terendapkan di bawah pot sebagai lelehan logam. Proses peleburan dilanjutkan, dengan penambahan alumina pada larutan kriolit untuk menggantikan senyawa yang terdekomposisi. Oleh sebab itu tungku reduksi dilengkapi dengan *crust breaker* yang secara

otomatis memecahkan *crust* secara otomatis dan memasukkan alumina ke dalam tungku reduksi jika kadar alumina dalam kriolit di bawah 1% (Arab-Ameri, 2013).

Untuk menghasilkan 1 ton aluminium dibutuhkan energi sebesar 13.000-15.000 kWh. Energi yang digunakan ini berbeda pada setiap smelter. Dalam hal ini, efisiensi arus yang baik diperlukan untuk menurunkan konsumsi energi di smelter aluminium (Horváth, 2013). Efisiensi arus dan efisiensi energi merupakan indikator yang penting pada teknologi smelter aluminium sebab parameter tersebut merupakan parameter dasar dalam menganalisis performa dan ketanggunhan tungku reduksi yang digunakan dalam mereduksi alumina. Menurut PT Inalum (Persero), efisiensi arus adalah persentasi perbandingan antara aluminium aktual yang dihasilkan dengan aluminium yang dihasilkan secara teoritis ketika arus mengalir pada tungku reduksi. Untuk memutuskan empat ion aluminium (4Al^{3+}) menurut prinsip pada Persamaan 2.1 dibutuhkan $4 \cdot 3 \cdot F$ muatan listrik. Ketika arus listrik I selama waktu t mengalir melalui tungku reduksi, produksi teoritis aluminium adalah:

$$\text{TP}_{\text{Al}} = \frac{4}{4 \cdot 3 \cdot F} \cdot M_{\text{Al}} \cdot I \cdot t \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana M_{Al} adalah massa molar dari aluminium. Dengan memasukkan nilai pada Persamaan 2.2 diperoleh:

$$\text{TP}_{\text{Al}} = \frac{4}{12 \times 96485} \times \frac{26,9815}{10^3} \times I \times 10^3 \text{ t} \times 3600 \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana TP_{Al} dalam kg, I dalam kA, dan t dalam jam lalu diperoleh:

$$\text{TP}_{\text{Al}} = 0,3356 \cdot I \cdot t \dots\dots\dots (2.4)$$

Secara umum, produk aluminium yang dihasilkan dari tungku reduksi selalu lebih sedikit dibandingkan dengan teori yang sesuai

dengan Hukum Faraday, dimana fraksi efisiensi arus dinyatakan dengan persamaan (Entner, 2007):

$$\eta = \frac{P_{Al}}{TP_{Al}} = \frac{P_{Al}}{0,3356 \cdot I \cdot t} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan

- η : Fraksi efisiensi arus
- P_{Al} : Produksi aluminium aktual (kg)
- TP_{Al} : Produksi aluminium teoritis (kg)
- I : Arus listrik (kA)
- t : Waktu (jam)

sedangkan efisiensi arus dalam persen dinyatakan dengan:

$$CE = 100 \cdot \eta \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan

- η : Fraksi efisiensi arus
- CE: Efisiensi arus

Secara sederhana, bahwa efisiensi arus dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (PT Inalum, 2016):

$$\text{Efisiensi arus (\%)} = \frac{\text{Produk elektrolisis aktual}}{\text{Produk elektrolisis teoritis}} \times 100\% \dots\dots (2.7)$$

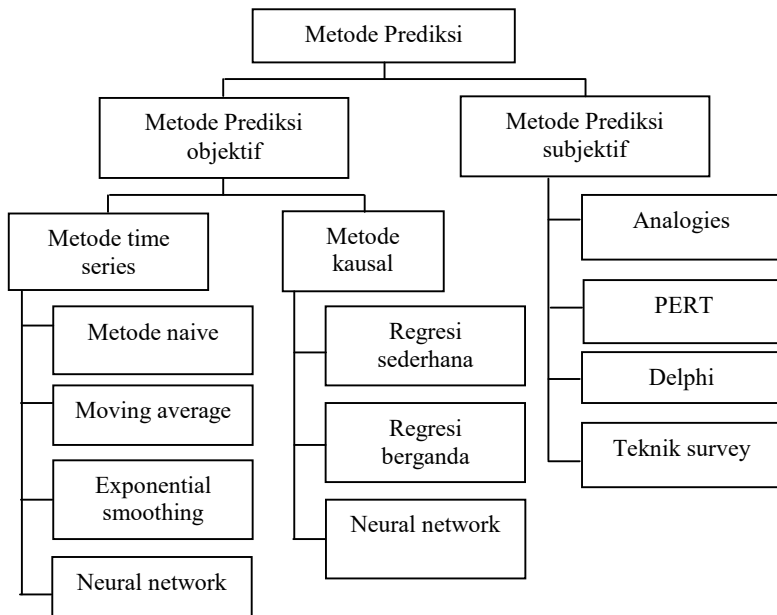
Persamaan 2.7 biasanya mewakili efisiensi arus dari keseluruhan tungku reduksi yang ada pada smelter aluminium.

2.3 Prediksi

Melakukan perancangan yang efisien adalah suatu hal yang sangat diperlukan. Dalam hal ini prediksi sangat diperlukan agar perencanaan yang dilakukan berjalan dengan baik. Menurut Makridakis (1999), teknik prediksi terbagi menjadi dua bagian, yang pertama metode prediksi subjektif dan metode prediksi objektif. Metode prediksi subjektif mempunyai model kualitatif

dan metode peramalan objektif mempunyai dua model, yaitu model *time series* dan model kausal.

Model kausal memasukkan dan variabel-variabel yang diduga akan mempengaruhi variabel dependen, model ini biasanya menggunakan analisis regresi untuk menentukan mana variabel yang signifikan mempengaruhi variabel dependen. Metode kausal sering disebut dengan metode hubungan sebab akibat. Model *time series* merupakan model yang digunakan untuk memprediksi masa depan dengan menggunakan data historis. Dengan kata lain, model *time series* mencoba melihat apa yang terjadi pada suatu kurun waktu tertentu dan menggunakan data masa lalu untuk memprediksi. Contoh dari model *time series* ini antara lain metode naive, *Moving average*, *Exponential Smoothing* dan *neural network* (Makridakis, 1999). Adapun klasifikasi metode prediksi diberikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi metode peramalan (Makridakis, 1999)

Ketepatan prediksi adalah suatu hal yang penting untuk prediksi. Ketepatan prediksi dilakukan dengan mengukur kesesuaian antara data yang sudah ada dengan data prediksi. Besar kesalahan suatu prediksi dapat dihitung dengan beberapa cara, antara lain adalah deviasi mutlak rerata (Mean Absolute Deviation – MAD) dan kesalahan persen mutlak rerata (Mean Absolute Percentage Error –MAPE) (Pakaja, 2012). Mean Absolute Deviation (MAD) mengukur ketepatan prediksi dengan merata-rata kesalahan dugaan (nilai absolute masing-masing kesalahan).

MAD berguna ketika mengukur kesalahan prediksi dalam unit yang sama sebagai deret asli. MAD merupakan ukuran pertama kesalahan prediksi keseluruhan untuk sebuah model. Persamaan yang digunakan untuk menghitung MAD adalah sebagai berikut (Pakaja, 2012):

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - F_t|}{n} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana pada Persamaan 2.8, Y_t merupakan data aktual pada periode ke- t , F_t merupakan nilai prediksi pada periode ke- t , dan n merupakan jumlah data. Sedangkan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dihitung dengan menggunakan kesalahan absolut pada tiap periode dibagi dengan nilai observasi yang nyata untuk periode itu. Kemudian, merata-rata kesalahan persentase absolut tersebut. MAPE merupakan pengukuran kesalahan dengan menghitung ukuran presentase penyimpangan antara data aktual dengan data peramalan. Nilai MAPE dapat dihitung dengan persamaan berikut (Pakaja, 2012):

$$MAPE = \left(\frac{100\%}{n} \right) \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - F_t|}{Y_t} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana pada Persamaan 2.9, Y_t merupakan data aktual pada periode ke- t , F_t merupakan nilai prediksi pada periode ke- t , dan n merupakan jumlah data.

2.4 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan suatu metode yang digunakan untuk melihat hubungan antar variabel atau lebih serta dapat menganalisis pengaruh satu variabel terhadap variabel lainnya (Sarwono, 2012). Gujaranti (2006) mendefinisikan regresi sebagai kajian terhadap hubungan suatu variabel yang diterangkan (*the explained variable*) dengan satu atau dua variabel yang menerangkan (*the explanatory*).

Tujuan menggunakan regresi ialah membuat estimasi rata-rata dan nilai variabel tergantung dengan didasarkan pada nilai variabel, menguji hipotesis karakteristik dependensi, dan untuk memprediksi nilai rata-rata variabel bebas dengan didasarkan pada nilai variabel bebas di luar jangkauan sampel (Sarwono, 2012). Disamping itu, perhitungan yang harus dilakukan juga tergolong sederhana, tidak rumit dan mudah proses interpretasinya (Suharjo, 2008).

2.4.1 Regresi Linier Sederhana

Regresi linear sederhana mengestimasi besarnya koefisien-koefisien yang dihasilkan dari persamaan yang bersifat linier, yang melibatkan satu variabel bebas untuk digunakan sebagai alat prediksi besarnya nilai variabel tergantung (Sarwono, 2006). Secara umum model persamaan regresi linier sederhana diberikan pada persamaan sebagai berikut (Suharjo, 2008):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan X adalah variabel bebas, Y adalah variabel tergantung, β_0 adalah *intercept*, β_1 adalah *slope*, dan e adalah error persamaan regresi. Pada Persamaan 2.10 hubungan antara X dan Y merupakan garis lurus. Nilai variabel independen diasumsikan tetap (tidak random), kerandoman hanya pada nilai variabel Y . Error berdistribusi normal dan tidak berkorelasi satu sama lain (Suharjo, 2008).

2.4.2 Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda adalah analisis untuk mengukur besarnya pengaruh antara dua atau lebih variabel independen terhadap satu variabel dependen dan memprediksi variabel dependen dengan menggunakan variabel independen. Perbedaan dengan regresi linier sederhana adalah dalam regresi linier sederhana menggunakan satu variabel dependen yang dimasukkan dalam model, sedangkan regresi linier berganda menggunakan dua atau lebih variabel independen yang dimasukkan dalam model (Priyatno, 2012).

Regresi linear berganda lebih sesuai dengan kenyataan di lapangan bahwa suatu variabel tergantung tidak hanya dapat dijelaskan oleh satu variabel bebas saja tetapi perlu dijelaskan oleh beberapa variabel bebas (Suharjo, 2008). Dalam regresi linier berganda terdapat asumsi klasik yang harus terpenuhi, yaitu residual terdistribusi normal, tidak adanya multikolinearitas, tidak adanya heterokedastisitas, dan tidak adanya autokorelasi pada model regresi (Priyatno, 2012). Secara umum model persamaan regresi linier berganda diberikan pada bersamaan sebagai berikut (Suharjo, 2008):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X + \beta_3 X + \beta_4 X + \dots + \beta_k X_k + e. \quad (2.11)$$

dengan X adalah variabel bebas, Y adalah variabel tergantung, β_0 adalah koefisien *intercept* regresi, $\beta_1 \dots \beta_k$ adalah koefisien *slope* regresi, dan e adalah error persamaan regresi.

2.5 Pemilihan Model Regresi Terbaik

Model regresi linier dapat disebut sebagai model yang baik jika bersifat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*). Model tersebut memenuhi beberapa asumsi yang kemudian disebut dengan asumsi klasik. Pada penelitian ini asumsi klasik yang harus terpenuhi dalam model regresi linear yaitu residual terdistribusi normal atau normalitas terpenuhi, tidak adanya multikolinearitas, dan tidak adanya heterokedastisitas (Priyatno, 2012).

Uji normalitas pada model regresi digunakan untuk menguji apakah nilai residual yang dihasilkan dari regresi terdistribusi secara normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah yang memiliki nilai residual yang terdistribusi secara normal. Uji ini untuk mengetahui apakah data empirik yang didapatkan dari lapangan sesuai dengan distribusi teoritik tertentu. Dengan kata lain, apakah data yang diperoleh dari populasi yang berdistribusi normal. Uji normalitas dapat melihat penyebaran data pada sumbu diagonal pada grafik *Normal P-P Plot of regression standardized residual* (Priyatno, 2012).

Uji multikolinearitas adalah keadaan dimana pada model regresi ditemukan adanya korelasi yang sempurna atau mendekati sempurna antara variabel independen. Pada model regresi yang baik seharusnya tidak terjadi korelasi yang sempurna atau mendekati sempurna di antara variabel bebas sebab jika terjadi masalah kolinearitas yang menyebabkan sulitnya diperoleh pendugaan koefisien parameter regresinya. Suatu model regresi dapat diketahui bersifat multikolinearitas atau tidak dengan melihat nilai *Tolerance* dan *Variance Inflation Factor* (VIF) pada model regresi (Priyatno, 2012).

Uji heterokedastisitas adalah untuk melihat apakah terjadi ketidaksamaan varian dari residual pada satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Model regresi yang baik adalah tidak terjadi heterokedastisitas. Akibat terjadinya heterokedastisitas maka setiap terjadinya perubahan pada variabel tergantung mengakibatkan residu juga berubah sejalan atau kenaikan atau penurunannya. Dengan kata lain konsekuensinya apabila variabel tergantung bertambah maka kesalahan juga bertambah. Deteksi heterokedastisitas dapat dilakukan dengan melihat pola titik-titik pada *scatterplots regression* dengan memplotkan nilai ZPRED (nilai prediksi) dengan nilai SRESID (nilai residualnya). Model yang baik jika tidak terdapat pola tertentu pada grafik (Priyatno, 2012).

Uji kriteria statistik juga dilakukan untuk melihat apakah kriteria statistik dari model yang dihasilkan telah terpenuhi. Uji ini meliputi uji *overall*, uji parsial, dan koefisien determinasi (R^2).

Uji *overall* dilakukan untuk melihat pengaruh variabel-variabel independen secara keseluruhan terhadap variabel dependen. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai F_{hitung} dan F_{tabel} . Selain itu dapat juga dilakukan dengan membandingkan nilai signifikansi yang diperoleh pada percobaan dengan nilai signifikansi pada hipotesis. Uji parsial dipakai untuk melihat signifikansi dari pengaruh independen secara individu terhadap variabel dependen dengan menganggap variabel lain bersifat konstan. Uji ini dilakukan dengan memperbandingkan t_{hitung} dan t_{tabel} . Selain itu juga dapat dilakukan dengan membandingkan nilai signifikansi yang diperoleh pada percobaan dengan nilai signifikansi pada hipotesis. Dalam regresi linier berganda koefisien determinasi yang digunakan adalah *adjust* koefisien R^2 (Sulaiman, 2004).

2.6 Metode Exponential Smoothing

Metode Exponential Smoothing (Makridakis, 1999) merupakan prosedur perbaikan terus menerus pada prediksi terhadap objek pengamatan terbaru. Metode prediksi ini menitik-beratkan pada penurunan prioritas secara eksponensial pada objek pengamatan yang lebih tua. Dalam pemulusan eksponensial atau *exponential smoothing* terdapat satu atau lebih parameter pemulusan yang ditentukan secara eksplisit, dan hasil ini menentukan bobot yang dikenakan pada nilai observasi. Dengan kata lain, observasi terbaru akan diberikan prioritas lebih tinggi bagi prediksi daripada observasi yang lebih lama. Metode ini terdiri atas metode pemulusan eksponensial satu parameter, metode pemulusan eksponensial dua parameter, dan metode pemulusan eksponensial tiga parameter.

2.6.1 Metode Pemulusan Eksponensial Satu Parameter

Adapun dalam pemulusan eksponensial satu parameter memiliki tiga metode yaitu metode pemulusan eksponensial tunggal, metode pemulusan eksponensial satu parameter dari Brown, dan metode pemulusan eksponensial tripel dari Brown

(Makridakis, 1999). Berikut ini adalah penjelasan singkat dari ketiga metode tersebut.

2.6.1.1 Metode Pemulusan Eksponensial Tunggal

Metode pemulusan eksponensial tunggal menggunakan sebuah parameter α yang dibobotkan pada data terbaru dan membobotkan dari nilai $(1 - \alpha)$ kepada hasil peramalan periode sebelumnya dimana nilai α terletak antara 0 dan 1 (The Jin Ai, 1999). Menurut Andriyanto (1999), persamaan umum yang dipakai dalam metode ini adalah:

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan F_{t+1} adalah ramalan untuk periode waktu $(t + 1)$, X_t adalah data pada periode waktu t , dan F_t dan ramalan untuk periode waktu t . Karena nilai F_t tidak diketahui, maka nilai ini dapat didekati dengan menggunakan observasi pertama X_1 kemudian dinyatakan dengan menghitung F_{t+1} dengan Persamaan 2.12. Kemudian lainnya adalah merata-ratakan empat atau lima nilai pertama dalam kelompok data dan menggunakan sebagai ramalan pertama (Andriyanto, 1999).

2.6.1.2 Metode Pemulusan Eksponensial Ganda Satu Parameter Dari Brown

Metode ini menggunakan dua kali tahap pemulusan dengan parameter yang sama besar yaitu α yang terletak diantara 0 dan 1 (Makridakis, 1999). Persamaan yang digunakan pada metode ini adalah:

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

$$a_t = 2 S'_t - S''_t \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S'_t - S''_t) \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$F_{t+m} = S'_t + b_t m \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan S'_t adalah nilai pemulusan eksponensial tunggal pada periode waktu ke- t dan S'_{t-1} adalah nilai pemulusan eksponensial tunggal pada periode waktu ke- $(t-1)$ sedangkan S''_t adalah nilai pemulusan eksponensial ganda pada periode ke- $(t-1)$. Persamaan 2.15 menunjukkan penyesuaian metode pemulusan eksponensial tunggal S'_t dengan perbedaan $(S'_t - S''_t)$ Persamaan 2.16 merupakan taksiran tren dari suatu periode waktu ke periode waktu berikutnya. F_{t+m} adalah nilai ramalan pada periode ke $(t + m)$ (Makridakis, 1999).

2.6.1.3 Metode Pemulusan Eksponensial Tripel Satu Parameter Dari Brown

Menurut Andriyanto (1999), persamaan umum dalam metode ini adalah:

$$S'_t = \alpha X_t + (1-\alpha)S'_{t-1} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1-\alpha)S''_{t-1} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$S'''_t = \alpha S''_t + (1-\alpha)S'''_{t-1} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$a_t = 3 S'_t - S''_t - S'''_t \dots\dots\dots (2.21)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} [(6-5\alpha)S'_t - (10-8\alpha)S''_t + (4-3\alpha)S'''_t] \dots\dots\dots (2.22)$$

$$c_t = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} (S'_t - 2S''_t + S'''_t) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$F_{t+m} = S'_t + b_t m + \frac{1}{2} c_t m^2 \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan S'''_t adalah pemulusan tripel pada periode ke- t dan S'_t adalah nilai pemulusan tripel pada periode ke $(t-1)$. Proses inisialisasi untuk proses pemulusan ini bisa sangat sederhana. Ditetapkan $S'_1 = S''_1 = S'''_1 = X_1$. Cukup untuk memulai peramalan dari periode dua dan seterusnya (Andriyanto, 1999).

2.6.2 Metode Pemulusan Eksponensial Dua Parameter

Dalam pemulusan eksponensial dua parameter terdapat beberapa metode yaitu metode pemulusan eksponensial tunggal pendekatan adaptif dan metode pemulusan ganda dua parameter dari Holt. Berikut ini akan dijelaskan penjelasan singkat dari kedua metode tersebut.

2.6.2.1 Metode Pemulusan Eksponensial Tunggal Pendekatan Adaptif

Pemulusan eksponensial tunggal dengan tingkat respon adaptif memiliki kelebihan daripada pemulusan eksponensial tunggal dalam hal nilai α yang dapat berubah secara terkendali, dengan adanya perubahan dalam pola datanya. Persamaan dasar untuk peramalan dengan metode ini adalah seperti Persamaan 2.12 kecuali bahwa α diganti dengan α_t serta nilai parameter β terletak diantara 0 dan 1. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk metode ini (Andriyanto,1999):

$$F_{t+1} = \alpha_t X_t + (1 - \alpha_t) F_t \dots \dots \dots (2.25)$$

dengan

$$\alpha_{t+1} = \frac{E_t}{M_t} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$E_t = \beta e_t - (1 - \beta) E_{t-1} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$F_t = \beta |e_t| - (1 - \beta) M_{t-1} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$e_t = X_t - F_t \dots \dots \dots (2.29)$$

Persamaan 2.25 menunjukkan bahwa nilai prediksi periode $(t + 2)$ ditetapkan sebagai nilai absolut dari rasio antara unsur *error* yang dihaluskan (E_t) dan error absolut ke $-t$ diberikan oleh Persamaan 2.29 (Andriyanto,1999).

2.6.2.2 Metode Pemulusan Eksponensial Ganda Dua Parameter Dari Holt

Pada metode pemulusan ini Holt memuluskan nilai tren dengan parameter yang berbeda dari parameter yang digunakan pada deret asli. Ramalan eksponensial dari pemulusan ini menggunakan dua konstanta pemulusan dengan nilainya berada diantara 0 dan 1. Adapun persamaan yang digunakan pada metode pemulusan ini adalah sebagai berikut (Andriyanto,1999):

$$S_t = \alpha X_t + (1-\alpha)(S_{t-1} - b_{t-1}) \dots\dots\dots (2.30)$$

$$b_t = \gamma (S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$F_{t+m} = s_t + b_t m \dots\dots\dots (2.32)$$

dengan S_t adalah nilai pemulusan pada saat t , X_t adalah data pada periode waktu ke t , b_t adalah tren pada periode waktu ke t , α adalah parameter pemulusan nilai data, dan γ adalah parameter pemulusan tren, F_{t+m} adalah hasil peramalan ke $t+m$, dan m adalah jumlah periode ke muka yang akan diramalkan (Raharja, 2010). Persamaan 2.30 menyesuaikan S_t secara langsung untuk tren periode sebelumnya yaitu b_{t-1} , Persamaan 2.31 serupa dengan Persamaan 2.12 tetapi dipakai untuk meremajakan tren, dan Persamaan 2.32 dipakai untuk m periode ramalan ke depan (Andriyanto,1999).

Metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt dalam prinsipnya serupa dengan pemulusan eksponensial ganda dari Brown kecuali bahwa metode ini tidak menggunakan pemulusan secara langsung. Sebagai gantinya, metode ini memaksakan nilai tren dengan parameter yang digunakan pada deret yang asli (Andriyanto,1999).

2.6.3 Metode Pemulusan Eksponensial Tiga Parameter

Metode ini disebut juga dengan metode Winters. Metode ini didasarkan atas tiga unsur yaitu untuk unsur stasioner, trend dan musiman untuk setiap periode dan memberikan tiga pembobotan dalam prediksinya, yaitu α , β , dan γ . Pembobotan α

memberikan pembobotan pada nilai level, β memberikan pembobotan pada trend, dan γ memberikan pembobotan pada efek musiman. Besarnya koefisien α , β , γ , memiliki jarak (*range*) diantara 0 dan 1 yang ditentukan secara subjektif atau dengan meminimalkan nilai kesalahan dari estimasi tersebut (Makridakis, 1999).

Metode ini sama dengan metode Holt, dengan satu persamaan tambahan untuk mengatasi musiman. Metode Winter terbagi menjadi dua yaitu metode additif dan metode multiplikatif. Model musiman aditif digunakan untuk variasi musiman yang bersifat konstan. Model musiman multiplikatif digunakan untuk variasi data musiman yang mengalami peningkatan atau penurunan (fluktuasi) (Montgomery, 2008). Persamaan umum dari metode Winters multiplikatif ini adalah sebagai berikut (Andriyanto, 1999):

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \dots \dots \dots (2.33)$$

$$b_t = \gamma (S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$I_t = \beta \frac{X_t}{S_t} + (1-\beta)I_{t-L} \dots \dots \dots (2.35)$$

$$F_{t+m} = (s_t + b_t m) I_{t-L+m} \dots \dots \dots (2.36)$$

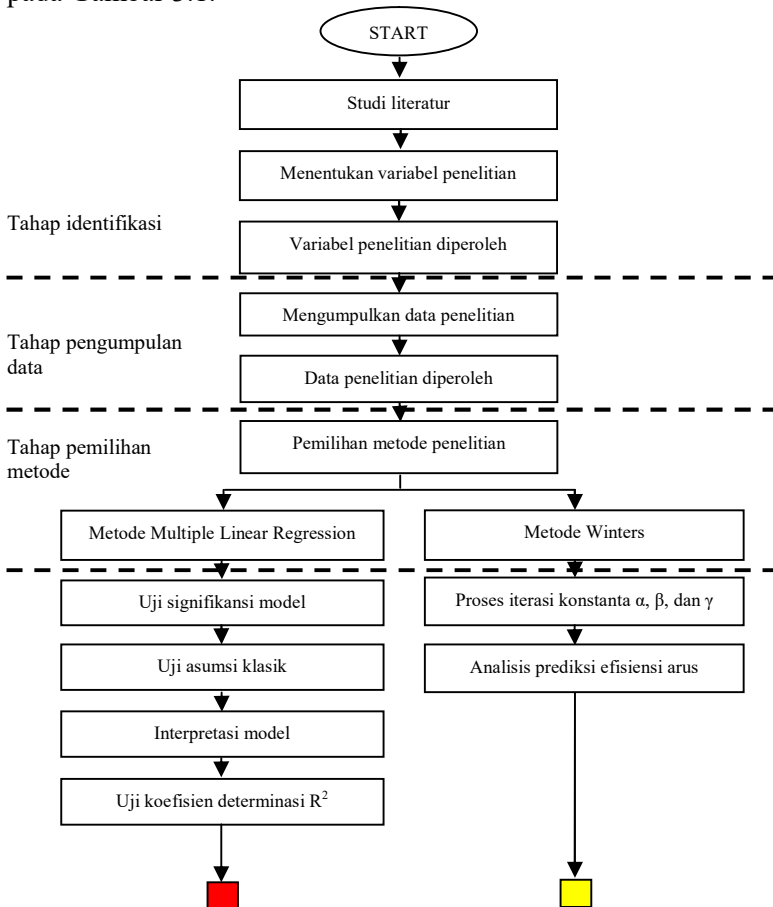
Dimana L adalah panjang musiman (misal, jumlah bulan atau kuartal dalam suatu tahun), b adalah komponen tren, dan I adalah faktor-faktor penyesuaian. Persamaan 2.33 merupakan pemulusan stasioner, persamaan 2.34 digunakan untuk pemulusan tren, Persamaan 2.35 digunakan untuk pemulusan musiman, dan Persamaan 2.36 adalah ramalan untuk m periode ke depan (Andriyanto, 1999).

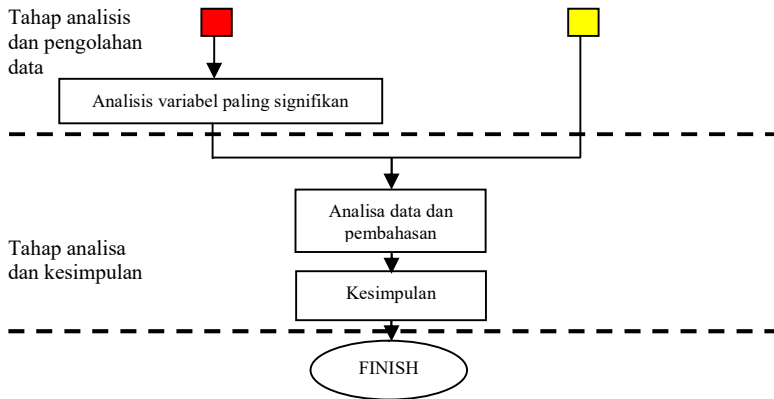
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini, diperlukan langkah atau tahapan kerja yang tepat dan sistematis agar tulisan ini berjalan dengan lancar. Adapun metodologi penelitian tugas akhir ini terangkum dalam diagram alir seperti pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Tahap Identifikasi

3.1.1 Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data sekunder dari PT Inalum (Persero), laptop yang tersedia *software* SPSS 23, *Software* MINITAB 16, dan *software* MATLAB R2013a. Data kemudian diolah menggunakan *software* SPSS 23 untuk menganalisis hubungan antara variabel bebas terhadap variabel tergantung serta menentukan variabel yang paling signifikan mempengaruhi efisiensi arus. *Software* MINITAB 16 digunakan untuk mencari nilai MAD dan MAPE terkecil pada proses iterasi konstanta α , β , dan γ . Data *time series* efisiensi arus dari 1 Januari 2015 hingga 30 Juni 2016 diiterasi sebanyak 729 kali hingga dihasilkan penghalusan data terbaik. Selanjutnya digunakan kembali *software* MINITAB 16 untuk menghitung nilai MAD dan MAPE dari perbandingan hasil penghalusan data *time series* terhadap dengan data pembanding efisiensi arus. Kemudian MATLAB R2013a digunakan untuk plot grafik yang dihasilkan dari penghalusan data prediksi efisiensi arus.

3.1.2 Variabel Penelitian

Adapun data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data variabel tergantung. Variabel tergantung (*dependent variable*) adalah variabel yang memberikan reaksi / respon jika dihubungkan dengan variabel bebas. Variabel tergantung adalah variabelnya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas (Sarwono, 2012). Dalam penelitian tugas akhir ini variabel tergantung yang digunakan adalah efisiensi arus.
2. Data variabel bebas. Variabel bebas (*independent variable*) merupakan variabel stimulus atau variabel yang lain. Variabel ini disebut juga sebagai variabel *predictor*, yaitu variabel yang berperan untuk memprediksi fluktuasi nilai dari variabel tergantung yang berarti bahwa dengan menggunakan nilai variabel bebas, maka dapat diprediksi besar kecilnya nilai variabel tergantung (Sarwono, 2012). Dalam penelitian tugas akhir ini variabel bebas yang digunakan adalah temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 dalam *bath*.

Untuk lebih jelas, data variabel bebas dan variabel tergantung yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data variabel penelitian.

Jenis Data	Sebutan umum	Sebutan dalam industri	Singkatan	Satuan
Variabel tergantung	Efisiensi arus tungku reduksi	<i>Current Efficiency</i>	CE	%
Variabel bebas	Temperatur larutan elektrolit (kriolit)	<i>Bath Temperature</i>	BT	°C

Variabel bebas	Pemasukan AlF_3 (Aluminium Flourida) ke dalam larutan elektrolit (kriolit)	<i>Feeding AlF_3</i>	AlF_3	kg
	Kandungan AlF_3 (Aluminium Flourida) di dalam larutan elektrolit (kriolit)	<i>Bath Acidity</i>	Sa	%
	Kandungan CaF_2 (Kalsium Flourida) di dalam larutan elektrolit (kriolit)	Kandungan CaF_2	CaF_2	%

3.2 Tahap Pengumpulan Data

3.2.1 Proses Pengambilan Data

Data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini diambil pada bulan September 2016 dari PT Inalum (Persero) yang terletak di Kuala Tanjung, Sumatera Utara. Data sekunder tersebut diperoleh dari ruang *Process Computer* (PROCOM) yang merupakan bagian dari Departemen *Smelter Reduction Preparation* (SRP). Data yang diambil berupa data sekunder dari 1 Januari 2015 hingga 30 Juni 2016 (548 hari) pada 510 tungu reduksi.

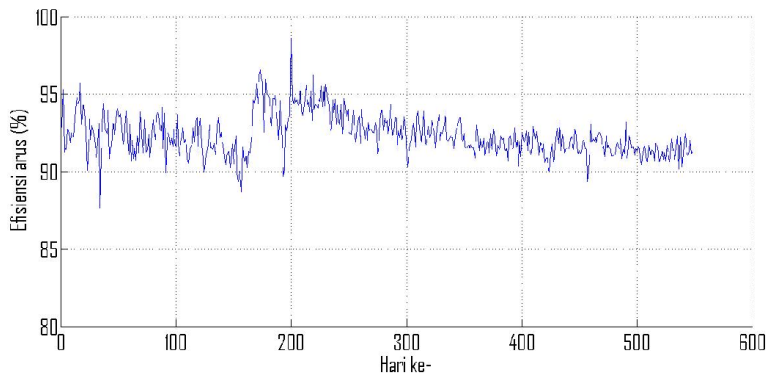
Data tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruh temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus. Pada penelitian ini juga digunakan data pembanding efisiensi arus dari 1 Juli hingga 31 Agustus 2016. Data tersebut digunakan sebagai data pembanding terhadap prediksi efisiensi arus yang akan dilakukan pada penelitian ini. Gambar 3.2 adalah merupakan peta lokasi pengambilan data penelitian.



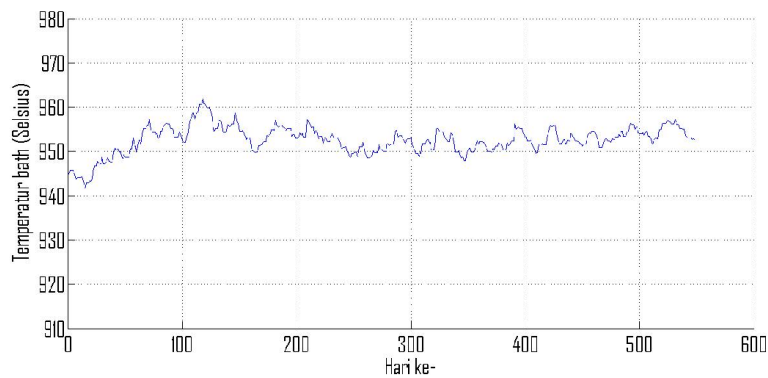
Gambar 3.2 Gedung Reduksi PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero) (Sumber: Google Maps)

3.2.2 Data Penelitian

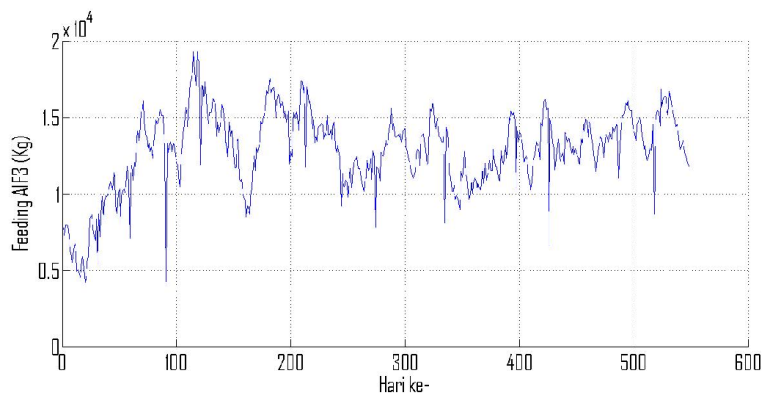
Adapun data penelitian yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini akan disajikan dalam bentuk gambar. Berikut ini merupakan data penelitian yang digunakan yang telah diubah dalam bentuk gambar *time series* seperti pada Gambar 3.3 sampai Gambar 3.8.



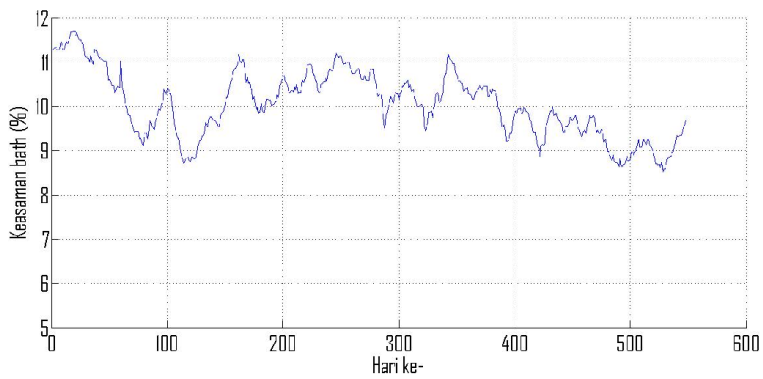
Gambar 3.3 Grafik *time series* efisiensi arus



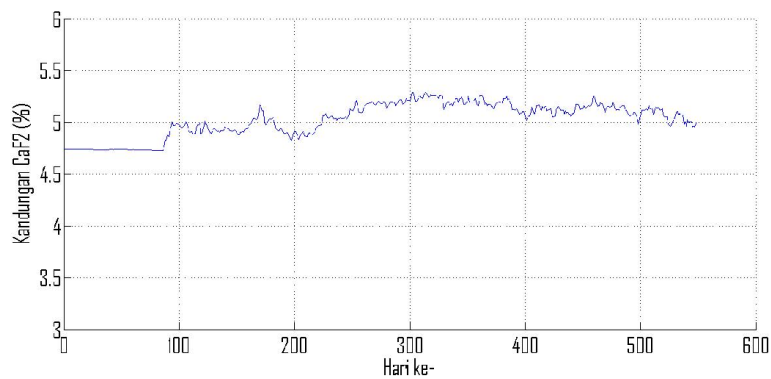
Gambar 3.4 Grafik *time series* Temperatur Bath



Gambar 3.5 Grafik *time series* Feeding AlF₃

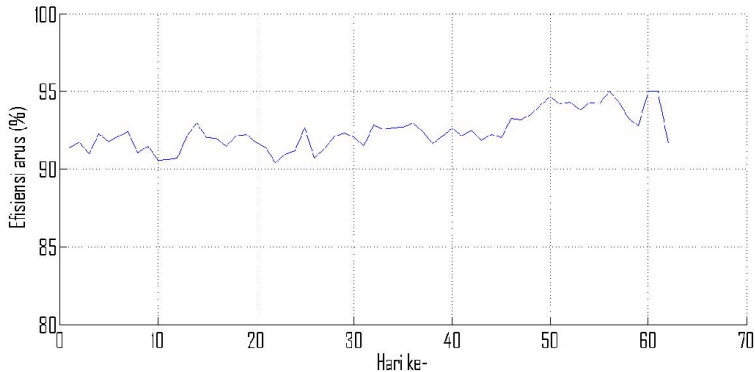


Gambar 3.6 Grafik *time series* keasaman Bath



Gambar 3.7 Grafik *time series* kandungan CaF_2

Sedangkan data pembanding efisiensi arus yang digunakan pada rumusan masalah kedua disajikan gambar berikut ini:



Gambar 3.8 Grafik data pembanding prediksi efisiensi pada 1 Juli hingga 31 Agustus 2016

3.3 Tahap Pemilihan Metode

Berikut ini merupakan pertimbangan yang dilakukan dalam pemilihan metode pada penelitian tugas akhir ini.

3.3.1 Pemilihan Metode Multiple Linear Regression

Dalam penyelesaian permasalahan pada rumusan masalah pertama digunakan metode *Multiple Linear Regression* untuk mengetahui hubungan variabel bebas dan variabel tergantung antara temperatur *bath*, *Feeding AIF₃*, keasaman *bath*, dan konsentrasi *CaF₂* terhadap efisiensi arus dengan menggunakan metode *Multiple linear Regression*. Metode peramalan terdiri dari dua bagian yaitu metode peramalan subjektif dan metode peramalan objektif. Metode peramalan subjektif bersifat kualitatif sedangkan metode peramalan objektif bersifat kuantitatif. Pada metode peramalan objektif terdiri dari dua bagian yaitu model *time series* dan model kausal.

Penelitian ini digunakan metode peramalan yang bersifat kausal sebab metode peramalan bersifat kausal digunakan dengan memasukkan dan menguji variabel-variabel yang diduga akan mempengaruhi suatu variabel tertentu. Sedangkan metode yang bersifat *time series* digunakan untuk memprediksi nilai periode berikutnya dengan menggunakan data historis sebelumnya. Salah satu metode dari metode peramalan yang bersifat kausal adalah metode regresi. Dalam metode prediksi yang bersifat kausal terdapat metode regresi dan *Neural Network*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa metode regresi memberikan nilai peramalan yang lebih baik daripada *Neural Network*. Oleh sebab itu pada penelitian ini digunakan peramalan dengan metode regresi. Untuk memperkuat pendapat, berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dalam industri smelter aluminium, Metode regresi linier berganda sangat baik dalam menentukan faktor dominan yang berpengaruh terhadap efisiensi arus sehingga dapat ditentukan bahwa untuk mengetahui hubungan variabel bebas terhadap variabel tergantung digunakan metode *Multiple Linear Regression*.

3.3.2 Pemilihan Metode Winters

Dalam penyelesaian permasalahan pada rumusan masalah kedua digunakan metode Winters untuk mengetahui prediksi efisiensi arus di PT Inalum (Persero) pada sistem produksi yang berlangsung saat ini. Karena penelitian bertujuan untuk mengetahui efisiensi arus dalam deret waktu, maka digunakan metode peramalan *time series*. Metode ini akan mengukur perubahan atau perkembangan data selama suatu periode tertentu. Pada penelitian tugas akhir ini digunakan metode *Exponential Smoothing* sebab metode ini sudah mempertimbangkan pengaruh acak, trend, dan musiman pada masa lalu yang akan dimuluskan.

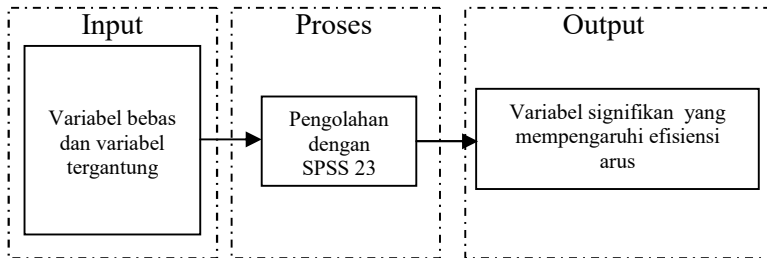
Dalam penelitian ini digunakan data dengan pola data stasioner, trend dan mengandung unsur musiman. Pola data stasioner merupakan pola yang berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan. Data efisiensi arus bersifat stasioner sebab

efisiensi arus pada tungku reduksi berfluktuasi berkisar 90%. Tren atau kecenderungan adalah komponen jangka panjang yang mempunyai kenderungan tertentu dalam pola data, baik arahnya meningkat atau menurun dari waktu ke waktu. Data efisiensi arus bersifat tren sebab ketika proses tungku reduksi stabil maka efisiensi arus akan naik, sedangkan ketika proses tungku reduksi tidak stabil maka efisiensi arus akan menurun. Hal tersebut akan menimbulkan efek tren. Kemudian efek musiman (seasonal) pada data disebabkan oleh kenaikan dan penurunan efisiensi arus yang selalu menghasilkan efek musiman. Untuk pola data seperti ini sebaiknya digunakan metode *Exponential Smoothing* yang terdiri dari tiga parameter yaitu metode Winters karena metode tersebut memperkirakan pola data tren yang tidak stasioner dan data musiman.

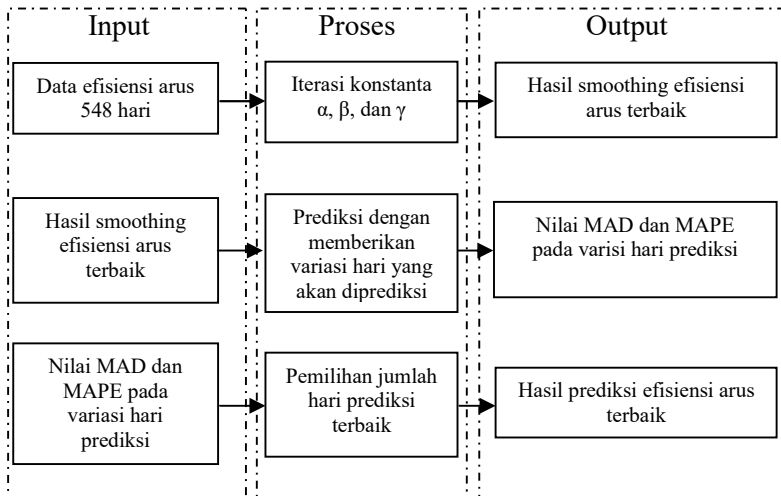
Jika dibandingkan dengan metode *Single Exponential Smoothing*, metode tersebut baik digunakan untuk pola data stasioner. Sedangkan metode *Double Exponential Smoothing* hanya digunakan untuk pola data stasioner dan tren saja. Metode Winters dibagi menjadi metode aditif dan multiplikatif. Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, metode aditif digunakan untuk variasi data musiman yang bersifat konstan sedangkan metode multiplikatif digunakan untuk variasi data musiman yang mengalami peningkatan atau penurunan (fluktuasi). Sehingga pada peramalan efisiensi arus pada penelitian tugas akhir ini digunakan metode Winters yang bersifat multiplikatif. Adapun persamaan yang digunakan pada metode Winters yaitu Persamaan 2.33 hingga 2.36.

3.4 Tahap Analisis Dan Pengolahan Data

Adapun analisis dan pengolahan yang dilakukan pada penelitian ini adalah seperti terlihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.



Gambar 3.9 *Input dan Output* untuk mengetahui variabel signifikan yang mempengaruhi efisiensi arus.



Gambar 3.10 *Input dan Output* untuk mengetahui efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi.

3.4.1 Pengolahan Data Untuk Mengetahui Variabel yang Paling Signifikan Mempengaruhi Efisiensi Arus

Dalam pengolahan ini, akan diketahui hubungan antara variabel bebas terhadap variabel tergantung dengan menggunakan metode *Multiple Linear Regression*. Sebagai upaya untuk menghindari *missing value* yang terjadi saat pengolahan data yang disebabkan data pengambilan data tidak secara rutin oleh

perusahaan, maka diambil tindakan untuk merata-ratakan variabel CE, BT, Sa, dan CaF_2 serta melakukan penjumlahan untuk variabel AlF_3 tiap hari.

Dari perlakuan tersebut diperoleh data untuk masing-masing variabel sebanyak 548 data untuk setiap variabel yang disajikan pada Gambar 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, dan 3.7. Adapun data *time series* dalam angka untuk menyelesaikan rumusan masalah pertama disajikan pada Lampiran 1 hingga Lampiran 5. Gambar 3.3 merupakan variabel tergantung pada penelitian sedangkan Gambar 3.4, 3.5, 3.6, dan 3.7 merupakan variabel bebas pada penelitian. Untuk mengetahui keakuratan data serta hubungan antara variabel, maka dilakukan analisis sebagai berikut:

A. Uji Signifikansi Model

Uji signifikansi model dapat dilakukan dengan uji *overall* dan uji parsial. Penggunaan uji *overall* statistik untuk melihat pengaruh variabel bebas secara keseluruhan terhadap variabel tergantung. Uji ini dilakukan dengan membandingkan nilai signifikansi yang diperoleh pada percobaan dengan nilai signifikansi pada hipotesis. Signifikansi ini diuji secara keseluruhan terhadap variabel efisiensi arus. Tingkat signifikansi parameter teregresi diuji dengan langkah sebagai berikut:

➤ Menentukan hipotesis

H_0 : Hubungan tidak signifikan variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus.

H_i : Hubungan signifikan variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus.

➤ Kriteria pengujian

Dengan taraf kepercayaan sebesar 95% maka signifikansi sebesar 5% (dengan syarat bahwa kesalahan pemodelan maksimal sebesar 5%) maka ditentukan kriteria pengujian koefisien korelasi sebagai berikut:

Jika signifikansi $> 0,05$ maka H_0 diterima

Jika signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak

➤ Penarikan kesimpulan

Uji parsial dilakukan untuk melihat signifikansi dari pengaruh independen secara individu terhadap variabel dependen dengan menganggap variabel lain bersifat konstan. Uji ini dilakukan dengan membandingkan nilai signifikansi yang diperoleh pada percobaan dengan nilai signifikansi pada hipotesis. Signifikansi ini diuji pada masing-masing variabel bebas terhadap variabel efisiensi arus. Tingkat signifikansi parameter regresi diuji dengan langkah sebagai berikut:

➤ Menentukan hipotesis

H_0 : Hubungan tidak signifikan variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus.

H_1 : Hubungan signifikan variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus.

➤ Kriteria pengujian

Dengan taraf kepercayaan sebesar 95% maka signifikansi sebesar 5% (dengan syarat bahwa kesalahan pemodelan maksimal sebesar 5%) maka ditentukan kriteria pengujian koefisien korelasi sebagai berikut:

Jika signifikansi $> 0,05$ maka H_0 diterima

Jika signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak

➤ Penarikan kesimpulan

B. Uji Asumsi Klasik Regresi Linier

Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah model yang terbentuk bersifat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*) atau tidak. Model yang baik harus memenuhi sifat BLUE. Adapun pengujian asumsi klasik yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah uji normalitas, uji multikolinearitas, dan uji heterokedastisitas.

Uji normalitas dilakukan dengan melihat grafik. Adapun langkah-langkah dalam pengujian normalitas pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

- Membuat grafik normal P-P Plot
Dengan bantuan *software* SPSS, buat grafik normal P-P Plot untuk uji normalitas.
- Kriteria pengujian
Jika titik-titik menyebar sekitar garis dan mengikuti garis diagonal maka residual telah normal dan uji normalitas terpenuhi. Jika tidak maka uji normalitas tidak terpenuhi.
- Penarikan kesimpulan

Uji multikolinearitas digunakan dengan melihat nilai alpha atau toleransi serta nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). Adapun langkah-langkah dalam pengujian multikolinearitas pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

- Menentukan nilai *Tolerance* dan VIF
Ditentukan nilai *Tolerance* dan VIF pada pengujian multikolinearitas. Nilai toleransi pada uji multikolinearitas sebesar 10% atau 0,1 maka nilai VIF adalah 10
- Kriteria pengujian
Jika toleransi $> 0,1$ dan $VIF < 10$, maka tidak terjadi multikolinearitas. Jika toleransi $< 0,1$ dan $VIF > 10$, maka terjadi multikolinearitas. Amati residu yang dihasilkan dari grafik yang telah dibuat dan bandingkan hasilnya dengan garis diagonal
- Penarikan kesimpulan

Uji heterokedastisitas digunakan dengan metode *scatter plot* dengan memplotkan nilai ZPRED (nilai prediksi) dengan SRESID (nilai residualnya). Adapun langkah-langkah dalam pengujian heterokedastisitas pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

- Membuat grafik *scatter plot*
Dengan bantuan *software* SPSS, buat grafik *scatter plot* untuk uji heterokedastisitas.
- Kriteria pengujian
Jika residu menyebar dan tidak membentuk pola tertentu, maka tidak terjadi heterokedastisitas. Jika residu membentuk pola tertentu, maka terjadi heterokedastisitas.

- Penarikan kesimpulan

C. Interpretasi Model

Model yang telah terbentuk dan telah memenuhi syarat signifikansi dan asumsi klasik, maka selanjutnya dilakukan interpretasi terhadap model yang dihasilkan. Adapun langkah-langkah dalam interpretasi model pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

- Dapatkan nilai koefisien model
Dengan bantuan *software* SPSS, nilai koefisien dari model regresi diperoleh.
- Interpretasi
Dilakukan interpretasi nilai konstanta yang dihasilkan pada pengolahan data menggunakan SPSS. Interpretasikan semua nilai konstanta yang diperoleh terhadap variabel efisiensi arus.
- Penarikan kesimpulan

D. Uji Koefisien Determinasi R^2

Setelah dilakukan interpretasi model, selanjutnya dilakukan analisis kemampuan model dalam menjelaskan fenomena dengan melihat koefisien determinasi R^2 . Adapun langkah-langkah dalam analisis koefisien determinasi R^2 pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

- Dapatkan nilai koefisien determinasi model
Dengan bantuan *software* SPSS, nilai koefisien determinasi dari model regresi diperoleh.
- Kriteria pengujian
Karena model menggunakan variabel bebas lebih dari dua, maka digunakan *adjust* koefisien determinasi R^2
- Penarikan kesimpulan

E. Analisis Variabel yang Paling Signifikan

Uji ini dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh tiap variabel bebas terhadap efisiensi arus. Adapun langkah-

langkah dalam analisis variabel yang paling signifikan pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

- Dapatkan nilai beta
Dengan bantuan *software* SPSS, nilai beta pada masing-masing variabel bebas diperoleh.
- Kriteria pengujian
Untuk mengetahui komposisi variabel bebas dalam memprediksi variabel efisiensi arus digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ pengaruh} = \left| \frac{\text{nilai variabel beta}}{\sum \text{nilai beta}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

- Penarikan kesimpulan

3.4.2 Pengolahan Data Untuk Mengetahui Prediksi Efisiensi Arus Pada Sistem Produksi Yang Sedang Beroperasi

Pada bagian ini dengan menggunakan metode Winters akan dilakukan prediksi terhadap variabel tergantung yaitu efisiensi arus guna mengetahui efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi. Pada penelitian ini digunakan data *time series* efisiensi arus yang disajikan pada Gambar 3.3. Data tersebut digunakan sebagai data awal untuk memprediksi efisiensi arus yang akan dilakukan. Sedangkan data pembandingan disajikan pada Gambar 3.8. Adapun analisis yang akan dilakukan pada pengolahan data sebagai berikut:

A. Proses Optimasi Konstanta α , β , dan γ

Proses optimasi konstanta α , β , dan γ dilakukan untuk mengetahui konstanta terbaik agar MAD dan MAPE yang dihasilkan memiliki nilai terkecil yang digunakan untuk penghalusan efisiensi arus dari 1 Januari 2015 hingga 30 Juni 2016. Adapun langkah dalam analisis ini sebagai berikut:

- Menentukan konstanta α , β , dan γ
Ditentukan nilai konstanta α , β , dan γ dengan menggunakan MINITAB 16.
- Kriteria pengujian

Dilakukan proses iterasi konstanta α , β , dan γ hingga diperoleh MAD dan MAPE terkecil dan optimum.

- Penarikan kesimpulan

B. Proses Prediksi Efisiensi Arus

Setelah konstanta α , β , dan γ diperoleh, selanjutnya dilakukan prediksi efisiensi arus dengan langkah sebagai berikut:

- Variasi prediksi
Untuk mengetahui rentang waktu prediksi terbaik maka dilakukan variasi prediksi yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari, 31 hari dan 62 hari.
- Perhitungan MAD dan MAPE
Setelah diperoleh prediksi efisiensi arus pada rentang waktu prediksi yang dilakukan, untuk mengetahui keakuratan prediksi yang dilakukan maka dengan menggunakan Persamaan 2.8 dihitung nilai MAD dan MAPE pada setiap prediksi yang dilakukan.
- Penarikan kesimpulan prediksi

3.5 Tahap Analisa Dan Kesimpulan

Dalam tahap ini dilakukan analisa terhadap hasil-hasil yang telah didapat dari tahap-tahap sebelumnya serta melakukan penarikan kesimpulan dari kedua permasalahan yang diselesaikan.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisa data dan pembahasan yang akan dijabarkan sebagai berikut.

4.1 Hasil Pengolahan Data Untuk Mengetahui Variabel yang Paling Signifikan Mempengaruhi Efisiensi Arus

Pada bagian ini dilakukan analisa hasil pengolahan data yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus dan untuk mengetahui variabel bebas dominan yang mempengaruhi efisiensi arus. Berikut merupakan analisa yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian dari rumusan masalah pertama yang telah ditentukan.

4.1.1 Signifikansi Model

Dalam melakukan pengujian signifikansi model pada penelitian ini digunakan pengujian diantaranya adalah uji *overall* dan uji parsial. Uji *overall* dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 dalam *bath* secara bersama terhadap variabel efisiensi arus. Adapun hasil penelitian dari uji *overall* disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil uji *overall*

Model	Signifikansi	Keputusan
Regression	$4,5905 \cdot 10^{-42}$	Signifikan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat dari Tabel 4.1 bahwa signifikansi yang diperoleh pada pengujian ini sebesar $4,5905 \cdot 10^{-42}$ atau secara statistik bernilai 0,000. Pada penelitian ini digunakan taraf kepercayaan sebesar 95% yang berarti kesalahan yang terjadi pada uji *overall* maksimal sebesar

5% atau bernilai 0,05. Langkah awal untuk analisa Tabel 4.1 adalah menentukan hipotesis penelitian yang terdiri dari hipotesis nol dan hipotesis alternatif.

Hipotesis nol menyatakan hubungan yang tidak signifikan dari variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 dalam *bath* terhadap variabel efisiensi arus. Sedangkan hipotesis alternatif menyatakan hubungan yang signifikan antara variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 dalam *bath* terhadap variabel efisiensi arus. Hipotesis nol diawali dengan tidak meyakini hubungan antara variabel bebas terhadap variabel tergantung. Oleh sebab itu dibuat sebuah hipotesis alternatif yang meyakini hubungan antara variabel bebas terhadap variabel tergantung.

Dari nilai signifikansi yang disajikan pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai signifikansi lebih kecil daripada 0,05 sehingga hipotesis nol ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 dalam *bath* secara keseluruhan berpengaruh terhadap variabel efisiensi arus di PT Inalum (Persero).

Berdasarkan penelitian oleh PT Inalum (Persero) diketahui bahwa secara fisis temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 dalam *bath* merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi arus. Kemudian setelah dilakukan pengujian secara statistik deskriptif dengan menggunakan data-data yang diperoleh dari PT Inalum (Persero) diketahui bahwa variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini berpengaruh secara keseluruhan terhadap efisiensi arus di PT Inalum (Persero).

Selanjutnya dilakukan uji parsial yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara individu terhadap efisiensi arus. Uji ini dilakukan dengan menganalisa setiap variabel bebas yang digunakan pada penelitian dan pengaruh tiap variabel bebas tersebut terhadap efisiensi arus. Adapun hasil uji parsial yang telah didapat disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil uji parsial

Variabel	Signifikansi	Keputusan
Temperatur <i>bath</i>	0,003782	Signifinikan
Pemasukan AlF_3	$1,2028 \cdot 10^{-18}$	Signifinikan
Keasaman <i>bath</i>	$5,4576 \cdot 10^{-26}$	Signifinikan
Kandungan CaF_2	0,021765	Signifinikan

Berdasarkan Tabel 4.2, hasil pengujian secara individu variabel temperatur *bath* terhadap efisiensi arus diperoleh signifikansi sebesar 0,003782. Nilai tersebut lebih kecil daripada taraf signifikansi yang ditentukan yaitu sebesar 0,05 sehingga hipotesis nol ditolak. Maka dapat disimpulkan bahwa secara individu variabel temperatur *bath* berpengaruh terhadap efisiensi arus.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Whitfield (2009); Dion; Murgelescu (2015); dan Tikasz (1994) menyebutkan bahwa temperatur *bath* sangat mempengaruhi efisiensi pada smelter aluminium. Jika temperatur *bath* tidak beroperasi pada batas normal yaitu pada temperatur 940°C hingga 960°C, maka tungku reduksi akan mengalami banyak masalah yang menyebabkan efisiensi arus akan berubah.

Menurut Whitfield (2009) dan Murgelescu (2015) diketahui bahwa temperatur *bath* beroperasi diatas 960°C akan mengakibatkan reaksi reoksidasi yang terjadi pada tungku reduksi. Menurut Hovarth (2013) reaksi reoksidasi disebabkan oleh gas CO_2 . Gas tersebut seharusnya dilepas pada saat proses elektrolisa alumina. Akan tetapi akibat temperatur *bath* diatas batas normal menyebabkan gas tersebut kembali bereaksi dengan aluminium cair. Akibat reaksi tersebut, aluminium cair menjadi alumina kembali yang menyebabkan efisiensi arus pada tungku reduksi akan berkurang.

Kemudian ketika temperatur *bath* beroperasi dibawah temperatur 940°C akan menyebabkan efisiensi arus pada tungku reduksi berkurang. Pada suhu operasi dibawah 940°C, alumina yang merupakan bahan baku pada proses elektrolisis seharusnya bereaksi pada larutan *bath*, namun alumina tersebut akan menjadi

lumpur yang mengendap pada bagian bawah tungku reduksi. Akibat tungku reduksi yang beroperasi dengan temperatur *bath* dibawah 940°C menyebabkan efisiensi arus akan berkurang.

Sehingga dari hal tersebut dapat diketahui bahwa ketika temperatur *bath* tidak beroperasi pada batas normal, maka efisiensi arus pada tungku reduksi akan berkurang. Hal tersebut menyebabkan jumlah aluminium aktual yang dihasilkan pada proses elektrolisis akan berkurang dari jumlah aluminium yang telah dihitung secara teoritis. Selanjutnya performa tungku reduksi untuk menghasilkan aluminium akan menurun yang disebabkan oleh efisiensi arus pada tungku berkurang.

Hovarth (2013) juga mengatakan bahwa pada temperatur *bath* yang tinggi akan menimbulkan efek depolarisasi. Efek tersebut terjadi ketika gas CO₂ yang dihasilkan ketika proses elektrolisis menutupi permukaan anoda menyebabkan rapat arus yang mengalir dari anoda menuju katoda berubah. Menurut PT Inalum (Persero) (2016), rapat arus yang tinggi akan meningkatkan efisiensi arus pada tungku reduksi dan sebaliknya rapat arus yang rendah akan menurunkan efisiensi arus pada tungku reduksi.

Akibat efek depolarisasi, terjadi perubahan rapat arus yang tinggi menjadi lebih rendah sehingga menurunkan efisiensi arus pada tungku reduksi. Penanganan yang dilakukan untuk hal tersebut adalah dengan cara menaik-turunkan anoda sehingga gas CO₂ dapat bebas dari permukaan anoda dan rapat arus yang mengalir dari anoda menuju katoda menjadi stabil kembali.

Kemudian dilakukan pengujian variabel pemasukan AlF₃ terhadap efisiensi arus. Dari Tabel 4.2 terlihat nilai signifikansi yang dihasilkan sebesar $1,2028 \cdot 10^{-18}$ atau secara statistik bernilai 0,000. Karena nilai signifikansi yang dihasilkan lebih kecil daripada 0,05 maka hipotesis nol ditolak. Berdasarkan pengujian disimpulkan bahwa variabel pemasukan AlF₃ secara individu berpengaruh terhadap efisiensi arus pada tungku reduksi. AlF₃ merupakan unsur kimia yang sangat berpengaruh terhadap proses elektrolisis di tungku reduksi sebab dapat menurunkan titik lebur dan juga sebagai katalis reaksi.

Menurut PT. Inalum (Persero) (2016), AlF_3 berfungsi untuk menjaga temperatur pada proses elektrolisis agar tetap batas normal. Jika temperatur *bath* tidak diantara temperatur 940°C hingga 960°C maka perlu dilakukan pemasukan AlF_3 ke dalam tungku reduksi agar temperatur menjadi normal kembali. Kuantitas pemasukan AlF_3 yang dimasukkan ke dalam tungku reduksi berbeda-beda. Jika temperatur *bath* sangat jauh dari batas temperatur normal, diperlukan pemasukan AlF_3 yang lebih banyak daripada temperatur yang tidak jauh dari temperatur normal. Jika kuantitas pemasukan AlF_3 kurang sesuai dengan keadaan tungku reduksi menyebabkan terjadi masalah dalam elektrolisis alumina yang pada akhirnya mempengaruhi efisiensi arus pada tungku reduksi. Oleh sebab itu diperlukan pemasukan AlF_3 yang sesuai dengan kebutuhan tungku reduksi.

Selanjutnya pada pengujian variabel keasaman *bath* dilihat pada Tabel 4.2 signifikansi yang dihasilkan pada pengolahan data sebesar $5,4576 \cdot 10^{-26}$ atau secara statistik bernilai 0,000. Nilai signifikansi tersebut lebih kecil daripada 0,05 sehingga disimpulkan bahwa hipotesis nol ditolak. Berdasarkan pengujian tersebut diperoleh bahwa variabel keasaman *bath* berpengaruh terhadap efisiensi arus.

Keasaman *bath* merupakan sebutan umum dalam industri smelter aluminium untuk menyatakan persen kandungan AlF_3 dalam larutan *bath*. Persen kandungan AlF_3 pada larutan *bath* harus sesuai dengan komposisi normal yang dibutuhkan tungku reduksi sebab jika persen kandungan AlF_3 kurang dari komposisi yang dibutuhkan tungku reduksi, maka efisiensi arus akan menurun. Jika keasaman *bath* tinggi, maka temperatur *bath* akan rendah sehingga kemampuan melarutkan alumina berkurang. Hal tersebut akan mengganggu produktivitas aluminium yang menyebabkan efisiensi arus menurun.

Kemudian ketika keasaman *bath* rendah, maka temperatur *bath* akan tinggi akan menyebabkan terjadi reaksi reoksidasi. Reaksi tersebut mempengaruhi produktivitas aluminium yang menyebabkan efisiensi arus menurun. Menurut PT Inalum (Persero) (2016), kandungan *bath* normal berkisar antara 8,5%

hingga 11,5%. Hal tersebut sudah sesuai dengan kondisi lapangan yang ada saat ini bahwa keasaman *bath* pada tungku reduksi sudah tepat. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6.

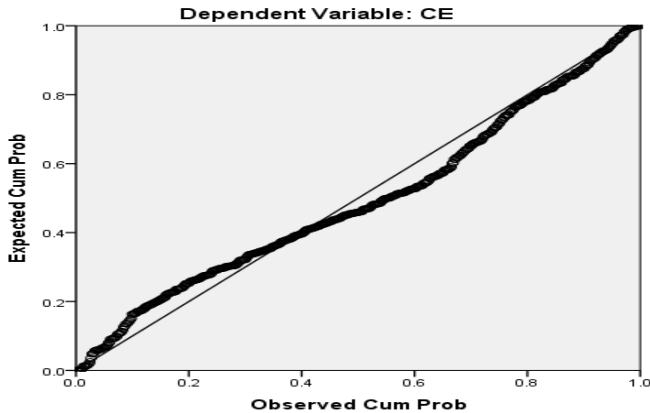
Kemudian pengujian variabel terakhir yaitu kandungan CaF_2 . Dari Tabel 4.2 diperoleh signifikansi pada variabel kandungan CaF_2 sebesar 0,021765. Nilai signifikansi tersebut lebih kecil daripada 0,05 sehingga disimpulkan bahwa hipotesis nol ditolak. Berdasarkan pengujian tersebut diperoleh bahwa variabel kandungan CaF_2 berpengaruh terhadap efisiensi arus.

CaF_2 merupakan unsur penyusun larutan *bath*. Unsur tersebut berpengaruh terhadap sifat larutan *bath* sebab unsur penyusun utama dari larutan *bath* adalah CaF_2 dan AlF_3 . Menurut penelitian sebelumnya oleh PT Inalum (Persero) (2016), sifat dari larutan *bath* yaitu memiliki temperatur kristalisasi primer yang rendah sehingga dapat menurunkan titik lebur alumina. merupakan konduktivitas listrik yang baik, dapat melarutkan alumina dalam jumlah yang besar, dan stabil dalam keadaan cair.

Ketika proses elektrolisis alumina berlangsung kandungan CaF_2 dalam *bath* akan berkurang, sehingga perlu dilakukan penambahan CaF_2 . Maka perlu dilakukan pengukuran terhadap persen kandungan CaF_2 dalam larutan *bath* agar produktivitas aluminium pada proses elektrolisa alumina tidak menurun yang pada akhirnya mempengaruhi efisiensi arus pada tungku reduksi. Saat ini kandungan CaF_2 pada tungku reduksi di PT Inalum (Persero) sudah baik. Sebab kandungan CaF_2 saat ini sudah berada diantara kandungan CaF_2 normal yaitu sekitar 4,5 hingga 6%.

4.1.2 Asumsi Klasik Regresi Linier

Dari pengolahan data yang telah dilakukan diperoleh hasil pengujian asumsi klasik yang terdiri dari uji normalitas, uji multikolinearitas, dan uji heterokedastisitas. Adapun grafik hasil uji normalitas yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik normal P-P Plot

Analisis uji normalitas pada penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan melihat grafik normal P-P Plot pada Gambar 4.1. Tujuan melakukan plot grafik pada Gambar 4.1 untuk mengetahui distribusi efisiensi arus sesuai dengan data yang telah ditetapkan atau sesuai dengan distribusi teoritis. Grafik P-P plot pada Gambar 4.1 terdiri dari plot variabel proporsi kumulatif dan plot residual variabel sebenarnya. Variabel sebenarnya yang dimaksudkan adalah residual efisiensi arus. Residual adalah selisih antara nilai duga (*predicted value*) dengan nilai pengamatan sebenarnya apabila data yang digunakan adalah data sampel. Dari Gambar 4.1, sumbu-x adalah *Observed Cum Prob* merupakan nilai observasi pengamatan efisiensi arus sedangkan sumbu-y adalah *Expected cum Prob* merupakan nilai normal efisiensi arus yang diharapkan.

Gambar 4.1 memperlihatkan tingkat penyebaran titik disekitar garis menunjukkan normal atau tidaknya suatu data. Dari pengolahan yang dilakukan terlihat bahwa data berdistribusi normal. Hal tersebut diketahui melalui plot residual efisiensi arus mengikuti arah plot proporsi kumulatif atau mengikuti garis diagonal. Dari uji normalitas yang dilakukan dapat disimpulkan

bahwa model regresi yang digunakan memenuhi asumsi normalitas.

Setelah uji normalitas dipenuhi, selanjutnya dilakukan uji multikolinearitas. Uji multikolinearitas digunakan untuk mengukur tingkat keeratan hubungan antar variabel bebas. Diharapkan dari uji multikolinearitas, model memenuhi asumsi klasik yaitu model tidak mengalami multikolinearitas. Kemudian setelah dilakukan pengujian diperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil toleransi dan Variance Inflation Factor pada uji multikolinearitas

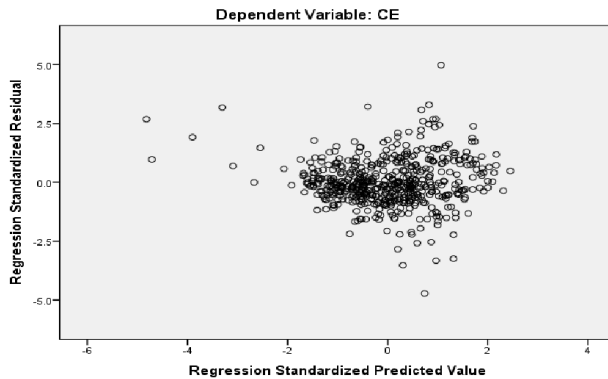
Variabel	Toleransi	Variance Inflation Factor	Keputusan
Temperatur <i>bath</i>	0,168	5,964	Tidak terjadi multikolinearitas
Pemasukan AlF_3	0,225	4,438	Tidak terjadi multikolinearitas
Keasaman <i>bath</i>	0,370	2,702	Tidak terjadi multikolinearitas
Kandungan CaF_2	0,866	1,155	Tidak terjadi multikolinearitas

Pada pengujian digunakan toleransi sebesar 10% atau bernilai 0,1. Nilai yang digunakan berdasarkan nilai toleransi uji multikolinearitas yang umum digunakan dalam bidang statistika deskriptif. Ketika toleransi yang digunakan sebesar 10%, maka nilai VIF (*Varians Inflation Factor*) yang digunakan bernilai 10. Dari Tabel 4.3 nilai toleransi yang dihasilkan pada tiap variabel dari proses pengujian bernilai lebih besar dari 0,1 atau lebih besar dari 10%.

Berdasarkan kriteria pengujian yang telah ditentukan, maka tidak terjadi multikolinearitas dari data yang digunakan pada penelitian ini sebab nilai nilai toleransi yang dihasilkan pada pengolahan data lebih besar dari 0,1 atau lebih besar dari 10%.

Sehingga disimpulkan bahwa tidak terjadi mutikolineatitas dari beberapa variabel yang digunakan pada penelitian. Selanjutnya dapat dilihat nilai VIF yang dihasilkan pada proses pengujian lebih kecil daripada 10. Sesuai dengan kriteria pengujian yang ditentukan bahwa uji multikolinearitas terpenuhi jika nilai nilai VIF dibawah 10. Berdasarkan Tabel 4.3 dilihat bahwa VIF yang dipeloh dari pengolahan data lebih kecil dari 10. Sehingga disimpulkan bahwa tidak terjadi multikolinearitas antara variabel bebas yang digunakan pada penelitian.

Setelah dilakukan uji normalitas dan uji multikolinearitas, selanjutnya dilakukan uji heterokedastisitas. Adapun hasil uji heterokedastisitas dari penelitian ini disajikan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik *scatter plot* uji heterokedastisitas

Secara fisis efisiensi arus akan berubah-ubah yang disebabkan oleh kondisi tungku reduksi yang dinamis. Sehingga perlu dilakukan pengujian heterokedastisitas yang bertujuan untuk mendeteksi residual yang didapat mengalami perubahan kenaikan maupun penurunan akibat efisiensi arus yang berubah. Dalam pengujian heterokedastisitas, data penelitian tidak mengalami heterokedastisitas apabila residual yang diperoleh dari pengolahan data bernilai konstan sehingga data tersebut dapat dikatakan baik. Adapun uji heterokedastisitas dilakukan dengan melakukan plot grafik antara nilai prediksi (*Regression*

Standardized Predicted Value – ZPRED) dengan nilai residual (*Regression Standardized Residual*). Plot yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada gambar tersebut, sumbu – x merupakan nilai prediksi dan sumbu – y merupakan nilai residual.

Titik – titik yang terlihat pada Gambar 4.2 merupakan residual yang diperoleh dari pengolahan yang telah dilakukan. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa residual yang dihasilkan tersebar tanpa membentuk pola tertentu. Selain itu, pada sumbu – y terlihat bahwa residu yang dihasilkan tersebar merata antara -5 hingga 5. Nilai tersebut menjelaskan bahwa residu yang diperoleh dari pengolahan data bernilai konstan. Berdasarkan pengujian tersebut disimpulkan bahwa tidak terjadi heterokedastisitas dari variabel efisiensi arus.

4.1.3 Interpretasi Model

Setelah dilakukan uji signifikansi model dan uji asumsi klasik regresi linier selanjutnya dapat dilakukan interpretasi model regresi linier. Berikut ini merupakan nilai koefisien yang diperoleh dari pengolahan data yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil koefisien model

Koefisien	Nilai koefisien
(Constant)	181,464
Temperatur <i>bath</i>	-0,107
Pemasukan AlF_3	0,000345
Keasaman <i>bath</i>	1,157
Kandungan CaF_2	-0,708

Secara matematis, Tabel 4.4 dapat dinyatakan sesuai dengan Persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\hat{y} = 181,464 - 0,107 \cdot X_1 + 0,000345 \cdot X_2 + 1,157 \cdot X_3 - 0,708 \cdot X_4 \quad (4.1)$$

atau

$$\hat{y} = 181,464 - 0,107 \cdot \text{Temperatur bath} + 0,000345 \cdot \text{Pemasukan } AlF_3 + 1,157 \cdot \text{Keasaman bath} - 0,708 \cdot \text{Kandungan } CaF_2 \quad \dots\dots (4.2)$$

Dari Persamaan 4.2 yang telah diperoleh, maka interpretasi model regresi linier dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Nilai konstanta intersep yang dihasilkan pada Persamaan 4.2 adalah 181,464. Artinya jika temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman *bath*, dan kandungan CaF_2 nilainya adalah nol maka efisiensi arus bernilai 181,464%. Nilai konstanta intersep yang diperoleh merupakan titik nol dari pengukuran yang dilakukan. Berarti bahwa titik nol pengukuran ketika model tidak mendapatkan respon dari variabel bebas adalah sebesar 181,464. Secara statistik nilai intersep tidak selalu perlu untuk diinterpretasikan sebab apabila data pengamatan variabel bebas tidak bernilai nol maka intersep tidak memiliki makna yang berarti. Hal tersebut juga sesuai dengan keadaan fisis yang terjadi pada lapangan bahwa variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman *bath*, dan kandungan CaF_2 tidak mungkin bernilai nol, sebab ketika bernilai nol maka efisiensi arus tidak akan diperoleh. Secara fisis efisiensi arus yang dihasilkan pada tungku reduksi di smelter aluminium tidak melebihi 100%. Oleh sebab itu pada Persamaan 4.2 konstanta intersep tidak memiliki makna yang berarti sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman *bath*, dan kandungan CaF_2 pada model agar nilai efisiensi arus secara dapat dicapai.
- Nilai koefisien regresi variabel temperatur *bath* bernilai negatif, yaitu -0,107. Artinya bahwa setiap kenaikan temperatur *bath* sebesar 1°C maka efisiensi arus akan berkurang sebesar 0,107% dan sebaliknya setiap penurunan temperatur *bath* sebesar 1°C maka efisiensi arus akan bertambah sebesar 0,107%. Berdasarkan penelitian Whitfield (2009) dan Murgelescu (2015) yang telah dilakukan sebelumnya nilai tersebut sesuai dengan keadaan fisis yang terjadi pada tungku reduksi bahwa ketika temperatur *bath* naik maka efisiensi arus berkurang disebabkan karena reaksi reoksidasi yang terjadi dan sebaliknya ketika temperatur *bath* turun, maka efisiensi arus bertambah dengan syarat

penurunan temperatur yang terjadi tidak dibawah temperatur normal operasi tungku reduksi.

- Nilai koefisien regresi variabel pemasukan AlF_3 bernilai positif, yaitu 0,000345. Artinya bahwa setiap kelebihan 1 kg AlF_3 yang dimasukkan ke dalam tungku reduksi maka efisiensi arus akan bertambah sebesar 0,000345% dan sebaliknya setiap kurangnya AlF_3 sebanyak 1 kg pada tungku reduksi maka efisiensi arus akan berkurang sebesar 0,000345%. Berdasarkan penelitian Dion nilai tersebut sesuai dengan keadaan fisis yang terjadi ketika larutan elektrolit mengandung banyak AlF_3 akan meningkatkan efisiensi arus dan sebaliknya ketika larutan elektrolit mengandung sedikit AlF_3 maka efisiensi arus akan menurun.
- Nilai koefisien regresi variabel keasaman *bath* bernilai positif, yaitu 1,157. Artinya bahwa setiap kenaikan keasaman *bath* sebesar 1,157%, maka efisiensi arus akan bertambah sebesar 1,157% dan sebaliknya setiap penurunan keasaman *bath* sebesar 1,157%, maka efisiensi arus akan menurun sebesar 1,157%. Hal tersebut juga sesuai dengan keadaan fisis yang terjadi pada tungku reduksi. Keasaman *bath* merupakan kandungan AlF_3 yang terdapat di dalam larutan elektrolit. Berdasarkan penelitian Dion, jika kandungan AlF_3 banyak di dalam larutan elektrolit maka efisiensi arus semakin bertambah dan sebaliknya jika kandungan AlF_3 sedikit di dalam larutan elektrolit maka efisiensi arus akan menurun.
- Nilai koefisien regresi variabel kandungan CaF_2 bernilai negatif, yaitu -0,708. Artinya bahwa setiap kenaikan kandungan CaF_2 sebesar 0,708%, maka efisiensi arus akan berkurang sebesar 0,708% dan sebaliknya setiap penurunan kandungan CaF_2 sebesar 0,708%, maka efisiensi arus akan naik sebesar 0,708%. Hasil tersebut kurang sesuai dengan keadaan fisis yang terjadi pada tungku reduksi. Berdasarkan penelitian PT. Inalum (Persero) (2013), jika larutan elektrolit banyak mengandung CaF_2 maka efisiensi arus semakin bertambah dan sebaliknya jika larutan elektrolit sedikit

mengandung CaF_2 maka efisiensi arus akan menurun. Walaupun hasil koefisien regresi kandungan CaF_2 kurang sesuai dengan keadaan fisis yang terjadi pada tungku reduksi, variabel tersebut tetap dimasukkan ke dalam model pada Persamaan 4.2, karena berdasarkan dengan hasil uji parsial yang diperoleh pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang dihasilkan oleh variabel kandungan CaF_2 di bawah 0,05 sehingga variabel tersebut dapat diterima dalam model yang telah diperoleh.

4.1.4 Koefisien Determinasi R^2

Penelitian ini digunakan variabel bebas yaitu temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman *bath*, dan kandungan CaF_2 . Oleh karena variabel bebas lebih dari satu, maka pada penelitian ini yang dianalisis adalah nilai *adjust* koefisien determinasi R^2 . Dari pengolahan data yang telah dilakukan diperoleh nilai *adjust* koefisien determinasi R^2 sebesar 0,302. Jika nilai tersebut dikonversi dalam satuan persen maka diperoleh nilai *adjust* koefisien determinasi R^2 sebesar 30,2%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh PT Inalum (Persero) (2016), beberapa variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini merupakan faktor yang sangat mempengaruhi nilai efisiensi arus pada tungku reduksi. Oleh karena itu digunakan empat variabel tersebut untuk mengetahui faktor dominan apa yang paling mempengaruhi efisiensi arus di PT Inalum (Persero). Secara interpretasi, variabel bebas yang digunakan hanya dapat menjelaskan variabel efisiensi arus sebesar 30,2%. Namun hasil tersebut sangat baik, sebab dari variabel bebas yang digunakan, model yang diperoleh dapat memprediksi permasalahan yang saat ini terjadi di PT Inalum (Persero). Sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang diperoleh sangat baik.

4.1.5 Variabel yang Paling Signifikan

Pada analisa ini akan ditentukan variabel yang paling dominan yang mempengaruhi besarnya nilai efisiensi arus pada tungku reduksi di PT Inalum (Persero). Berdasarkan pengolahan

yang telah dilakukan, didapat nilai beta seperti yang terangkum pada Tabel (4.5).

Tabel 4.5 Hasil Koefisien Beta

Variabel	Nilai beta	Besar pengaruh terhadap efisiensi arus
Temperatur <i>bath</i>	-0,254	15,10%
Pemasukan AlF_3	0,688	40,90%
Keasaman <i>bath</i>	0,652	38,76%
Kandungan CaF_2	-0,088	5,23%

Nilai beta pada Tabel 4.5 memiliki arti yang sama dengan nilai koefisien yang diperoleh pada Tabel 4.4. Perbedaan keduanya adalah pada Tabel 4.4 digunakan satuan variabel yang sesuai dengan satuan fisis variabelnya sedangkan nilai beta pada Tabel 4.5 merupakan koefisien yang telah terstandarisasi. Nilai beta akan bernilai 1 atau -1 jika pengaruh variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman *bath*, dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus semakin besar. Pada Tabel 4.5, koefisien beta bernilai positif ataupun negatif tidak memiliki arti fisis.

Kemudian dengan melakukan perhitungan menggunakan Persamaan 3.1, maka pada Tabel 4.4 diperoleh pengaruh temperatur *bath* sebesar 15,10%, pemasukan AlF_3 sebesar 40,90%, keasaman *bath* sebesar 38,76%, dan kandungan CaF_2 sebesar 5,23%. Berdasarkan nilai tersebut didapat variabel bebas dominan yang mempengaruhi efisiensi arus pada tungku reduksi adalah pemasukan AlF_3 . Variabel tersebut memiliki pengaruh yang terbesar dari keempat variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini.

Sesuai dengan kondisi di PT Inalum (Persero) sistem pemasukan AlF_3 yang diterapkan di perusahaan kurang baik disebabkan perusahaan tidak memiliki sistem kontrol khusus untuk memasukkan kebutuhan AlF_3 pada tungku reduksi. Perusahaan memasukkan AlF_3 ke dalam tungku reduksi hanya berdasarkan keadaan temperatur *bath* pada tungku reduksi. Jika temperatur *bath* mengalami kenaikan dan penurunan yang sangat

jauh dari batasan temperatur *bath* normal maka dilakukan pemasukan AlF_3 yang lebih banyak ke dalam tungku reduksi. Sebaliknya ketika temperatur *bath* mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak jauh dari batasan temperatur *bath* normal maka dilakukan pemasukan AlF_3 yang sedikit ke dalam tungku reduksi.

Dari hal tersebut diketahui bahwa acuan untuk menentukan pemasukan AlF_3 ke dalam tungku reduksi kurang tepat. Sehingga perlu dilakukan suatu perbaikan terhadap sistem pemasukan AlF_3 ke dalam tungku reduksi agar performa tungku reduksi saat beroperasi semakin baik dan efisiensi arus yang tinggi dapat dicapai.

4.2 Hasil Pengolahan Data Untuk Mengetahui Prediksi Efisiensi Arus Pada Sistem Produksi Yang Sedang Beroperasi

Setelah diketahui pengaruh variabel temperatur *bath*, pemasukan AlF_3 , keasaman larutan elektrolit (*bath*), dan kandungan CaF_2 terhadap efisiensi arus serta variabel bebas dominan yang mempengaruhi efisiensi arus, selanjutnya dilakukan analisa prediksi efisiensi arus. Adapun tujuan dilakukan analisa ini adalah untuk mengetahui predik efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi. Berikut merupakan analisa yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian yang telah ditentukan.

4.2.1 Konstanta α , β , dan γ yang Optimum

Pada penelitian ini dilakukan optimasi konstanta α , β , dan γ . Optimasi yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pemulusan efisiensi arus yang terbaik pada data *time series* efisiensi arus yang digunakan. Sebab pemulusan efisiensi arus yang terbaik akan menghasilkan prediksi efisiensi arus yang terbaik pada hari berikutnya. Untuk mengetahui keakuratan pemulusan pada setiap konstanta digunakan nilai MAD (*Mean Absolute Deviation*) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Adapun beberapa hasil optimasi konstanta yang dilakukan

disajikan pada Tabel 4.6, 4.7, dan 4.8. Sedangkan proses optimasi secara keseluruhan disajikan pada Lampiran 8.

Tabel 4.6 Hasil MAD dan MAPE dengan variasi konstanta α

NO.	α	β	γ	MAD	MAPE (%)
1	0,1	0,1	0,1	0,0116705	0,0126047
2	0,2	0,1	0,1	0,0061189	0,0065726
3	0,3	0,1	0,1	0,0043425	0,0046606
4	0,4	0,1	0,1	0,0034683	0,0037222
5	0,5	0,1	0,1	0,0028927	0,0031051
6	0,6	0,1	0,1	0,0025137	0,0027001
7	0,7	0,1	0,1	0,002219	0,0023857
8	0,8	0,1	0,1	0,0020152	0,00217
9	0,9	0,1	0,1	0,0018134	0,0019556

Tabel 4.7 Hasil MAD dan MAPE dengan variasi konstanta β

NO.	α	β	γ	MAD	MAPE (%)
1	0,1	0,1	0,1	0,0116705	0,0126047
2	0,1	0,2	0,1	0,0115179	0,0123899
3	0,1	0,3	0,1	0,0114707	0,012302
4	0,1	0,4	0,1	0,011433	0,122939
5	0,1	0,5	0,1	0,0114666	0,123362
6	0,1	0,6	0,1	0,0114184	0,122948
7	0,1	0,7	0,1	0,0114476	0,123386
8	0,1	0,8	0,1	0,114422	0,123412
9	0,1	0,9	0,1	0,0114314	0,0123206

Tabel 4.8 Hasil MAD dan MAPE dengan variasi konstanta γ

NO.	α	β	γ	MAD	MAPE (%)
1	0,1	0,1	0,1	0,0116705	0,0126047
2	0,1	0,1	0,2	0,0116705	0,0126047
3	0,1	0,1	0,3	0,0116705	0,0126047
4	0,1	0,1	0,4	0,0116705	0,0126047
5	0,1	0,1	0,5	0,0116705	0,0126047
6	0,1	0,1	0,6	0,0116705	0,0126047

7	0,1	0,1	0,7	0,0116705	0,0126047
8	0,1	0,1	0,8	0,0116705	0,0126047
9	0,1	0,1	0,9	0,0116705	0,0126047

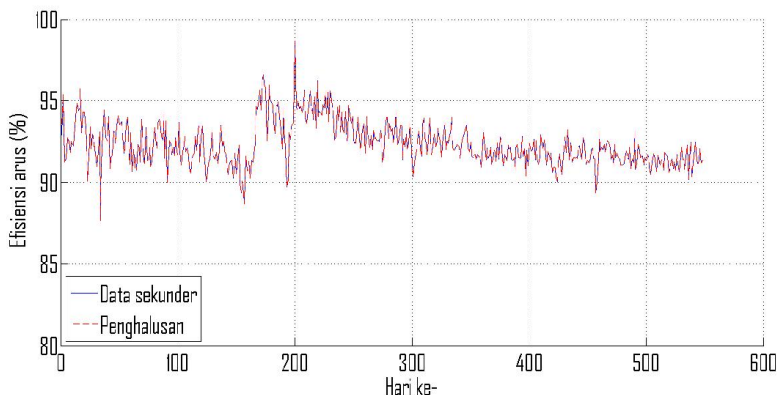
Dari Tabel 4.6 terlihat bahwa semakin besar konstanta α maka MAD dan MAPE yang dihasilkan akan semakin kecil. Sebaliknya semakin kecil konstanta α maka MAD dan MAPE yang dihasilkan akan semakin besar. Konstanta α merupakan konstanta stasioner pada metode Winters. Konstanta α akan mengestimasi pemulusan dengan nilai intersep yang diperoleh pada data *time series* efisiensi arus. Secara teoritis jika konstanta α mendekati 1, maka prediksi yang diperoleh semakin akurat. Hal tersebut juga sesuai dengan hasil penelitian yang diperoleh pada Tabel 4.6 bahwa konstanta α yang dihasilkan semakin mendekati 1. Sehingga dapat disimpulkan untuk menghasilkan prediksi efisiensi arus yang baik maka digunakan konstanta α yang besar.

Kemudian pada variasi konstanta β yang disajikan pada Tabel 4.7 terlihat bahwa setiap kenaikan ataupun penurunan nilai konstanta β , tidak menghasilkan perubahan nilai MAD dan MAPE yang linier dengan perubahan nilai konstanta β .

Pada variasi konstanta γ yang disajikan pada Tabel 4.8 terlihat bahwa pada nilai MAD dan MAPE yang dihasilkan tetap. Sehingga dapat disimpulkan bobot faktor musiman tidak mempengaruhi pemulusan efisiensi arus yang dilakukan. Maka pada penelitian ini dapat digunakan konstanta γ antara 0,1 hingga 0,9. Pada pemulusan data *time series* efisiensi arus diperoleh nilai MAPE dibawah 10%. Menurut Jose (2006), apabila kesalahan dibawah 10%, maka dikatakan bahwa prediksi yang dilakukan sangat bagus.

Dari keseluruhan optimasi nilai konstanta konstanta α , β , dan γ yang terlampir pada Lampiran 8 diperoleh konstanta yang memenuhi syarat dan menghasilkan nilai MAD dan MAPE yang paling minimum dengan konstanta α bernilai 0,9; konstanta β bernilai 0,6; dan konstanta γ bernilai 0,1. Konstanta tersebut digunakan untuk proses prediksi efisiensi arus pada penelitian ini.

Adapun representasi grafik pemuluan efisiensi arus dari kedua model konstanta yang diperoleh adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Hasil pemuluan efisiensi arus

Dari Gambar 4.3 terlihat nilai pemuluan yang diperoleh pada penelitian ini sangat baik sebab nilai pemuluan yang diperoleh hampir sama dengan data *time series* efisiensi arus. Hal tersebut disebabkan oleh nilai MAD dan MAPE pada konstanta yang digunakan menghasilkan nilai yang paling minimum. Jika penghalusan data yang telah dilakukan sudah menghasilkan nilai yang baik, maka prediksi efisiensi arus pada hari berikutnya yang akan dilakukan akan menghasilkan nilai yang baik juga.

4.2.2 Prediksi Efisiensi Arus Terbaik

Dari variasi jumlah hari prediksi yang telah dilakukan, diperoleh nilai kesalahan prediksi yang disajikan pada Tabel 4.9.

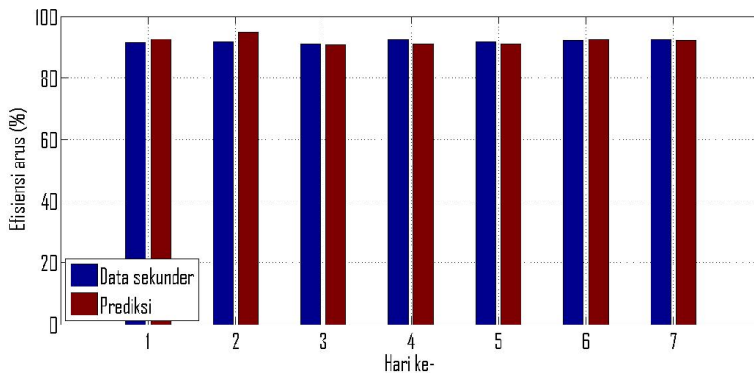
Tabel 4.9 Kesalahan prediksi pada variasi jumlah hari prediksi.

Model	Jumlah hari prediksi	MAD	MAPE (%)
1	7 Hari	0,981252	1,068662
	14 Hari	1,099967	1,201237
	21 Hari	1,379673	1,505033

	31 Hari	1,189157	1,298488
	62 Hari	1,327238	1,432537

Berdasarkan Tabel 4.9, model konstanta α , β , dan γ menghasilkan prediksi efisiensi arus terbaik selama 7 hari. Hal tersebut diketahui dari nilai kesalahan prediksi yaitu MAD dan MAPE yang diperoleh bernilai minimum dari prediksi jumlah hari lainnya. Sehingga dapat disimpulkan prediksi yang dilakukan untuk mengetahui efisiensi arus pada sistem produksi yang sedang beroperasi harus dilakukan setiap 7 hari agar prediksi yang dilakukan mencapai hasil maksimal.

Adapun hasil prediksi efisiensi arus terbaik pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Hasil prediksi efisiensi arus terbaik.

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa hasil prediksi efisiensi arus sangat baik. Hal tersebut terlihat dari hasil prediksi efisiensi arus yang menghasilkan nilai hampir sesuai dengan data pembandingan yang digunakan pada penelitian ini. Keakuratan prediksi tersebut dapat dilihat dari MAD dan MAPE yang dihasilkan sebesar 0,981252 dan 1,068662%. Sehingga dari model konstanta yang digunakan dapat memprediksi efisiensi arus dengan keakuratan prediksi yang baik.

4.3 Keterkaitan Variabel Signifikan Terhadap Prediksi Efisiensi Arus

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan diperoleh variabel signifikan yang mempengaruhi efisiensi arus adalah pemasukan AlF_3 ke dalam tungku reduksi di PT Inalum (Persero). Hal tersebut sesuai dengan kondisi lapangan di PT Inalum (Persero) bahwa pemasukan AlF_3 merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi arus pada tungku reduksi sebab pemasukan jumlah AlF_3 yang kurang tepat menyebabkan efisiensi arus kurang baik. Saat ini efisiensi arus pada PT Inalum (Persero) tergolong sangat rendah dibandingkan dengan smelter aluminium lainnya yaitu sebesar 92,2%. Dari pengolahan prediksi efisiensi arus didapat bahwa prediksi yang dilakukan sangat baik karena menghasilkan nilai yang hampir sesuai dengan data aktual pembanding yang digunakan. Jika PT Inalum (Persero) tetap melakukan metode pemasukan AlF_3 dengan sistem yang berjalan saat ini, maka keinginan PT Inalum (Persero) untuk meningkatkan efisiensi arus pada tungku reduksi tidak akan tercapai. Jika efisiensi arus kurang optimum maka performa tungku reduksi untuk mereduksi alumina akan berkurang. Hal tersebut menyebabkan produk aluminium aktual yang dihasilkan sangat berbeda jauh dengan produk aluminium teoritis sehingga efisiensi arus yang tinggi tidak tercapai. Oleh sebab itu diperlukan efisiensi arus yang tinggi pada tungku reduksi agar performa tungku reduksi untuk mereduksi alumina meningkat serta menghemat penggunaan energi listrik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Temperatur *bath* berpengaruh terhadap efisiensi arus. Jika temperatur *bath* tidak beroperasi pada temperatur normal pada temperatur normal (940°C - 960°C), maka tungku reduksi akan mengalami masalah yang menyebabkan efisiensi arus menurun.
2. Pemasukan AlF_3 berpengaruh terhadap efisiensi arus. Kuantitas pemasukan AlF_3 yang dimasukkan ke dalam tungku reduksi berbeda-beda. Jika temperatur operasi sangat jauh dari temperatur normal, diperlukan pemasukan AlF_3 yang lebih banyak daripada temperatur operasi yang tidak jauh dari temperatur normal. Hal tersebut menyebabkan terjadi masalah dalam elektrolisis alumina yang mempengaruhi efisiensi arus pada tungku reduksi.
3. Keasaman *bath* berpengaruh terhadap efisiensi arus. Jika persen keasaman *bath* pada larutan *bath* tidak diantara keasaman *bath* normal (8,5% hingga 11,5%) menyebabkan efisiensi arus menurun.
4. Kandungan CaF_2 berpengaruh terhadap efisiensi arus. Jika persen kandungan CaF_2 pada larutan *bath* tidak diantara kandungan CaF_2 normal (4,5% hingga 6,5%) menyebabkan efisiensi arus menurun.
5. Dari keempat variabel bebas yang digunakan diperoleh variabel pemasukan AlF_3 paling mempengaruhi efisiensi arus pada tungku reduksi sebesar 40,90% sedangkan variabel keasaman *bath* sebesar 38,76%, temperatur *bath* sebesar 15,10%, dan kandungan CaF_2 sebesar 5,23%.
6. Penghalusan data *time series* efisiensi arus terbaik dengan konstanta α sebesar 0,9; konstanta β sebesar 0,6; dan konstanta γ sebesar 0,1.

7. Untuk mengetahui efisiensi arus pada hari berikutnya dilakukan prediksi setiap 7 hari agar menghasilkan prediksi yang terbaik.

5.2 Saran

Saran yang diberikan oleh penulis untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan analisis dengan variabel bebas lainnya agar kemampuan model menjelaskan variabel tergantung lainnya semakin besar.
2. Diperlukan optimasi prediksi efisiensi arus sebelum dan sesudah perbaikan sistem pemasukan AlF_3 untuk mengetahui keakuratan model yang telah dibuat.
3. Diperlukan perbaikan sistem pemasukan AlF_3 agar efisiensi arus yang tinggi dapat tercapai.

DAFTAR PUSTAKA

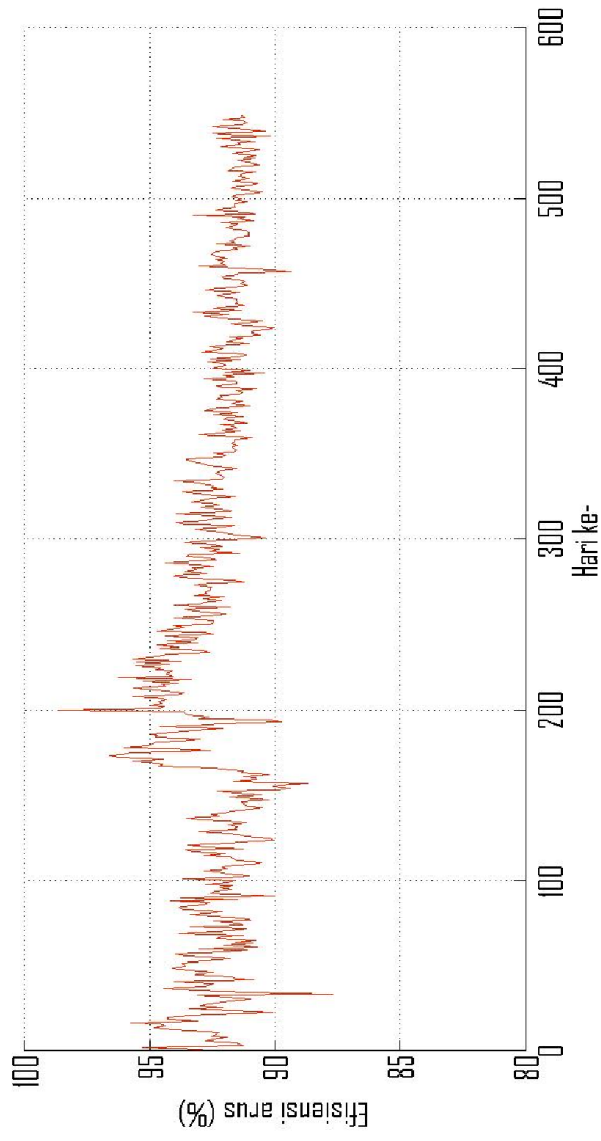
- Al-Mejali, Jassim Ali. 2015. *The Role of Key Impurity Elements on the Performance of Aluminium Electrolysis -Current Efficiency and Metal Quality*. Qatar: A Thesis in Material Science & Technology- College of Arts & Science – Qatar University.
- Andriyanto. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Erlangga.
- Arab-Ameri, Yasser dan S. Reza Self Mohaddecy. 2013. *Modeling of Aluminum Extraction Process, Case study Arak Aluminum Company*. Tehran-Iran: International Journal of Chemical Science and Technology – Research Institute of Petroleum Industry.
- Dion, Lukas._____. *Sodium Content in Aluminium and Current Efficiency – Correlation Through*. Canada.
- Drapper, N. dan Smith, H. 1981. *Applied Regression Analysis – Second Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Entner, Peter dan Ulrich Heinzmann. 2007. Alcan Alesa Engineering Ltd. Chippis– Switzerland: Alcan.
- Feiya, Yan., dkk. 2012. *In Depth Analysis of Energy-Saving and Current Efficiency Improvement of Aluminum Reduction Cells*.
- Fischer, Jean-Claude., dkk._____. *Anode Management Options during Smelter Capacity Creep*.
- Grjotheim, K., Haupin, W. E. dan Welch, B. J. 1985. *Current Efficiency – Relating Fundamental Studies to Practice*. AIME Light Metals. pp 679-694.
- Gujarati, Damodar N. 2006. *Essential of Econometrics*. New York: NacGraw Hill.
- Gusberti, Vanderlei., dkk._____. *Modelling The Aluminium Smelting Cell Mass and Energy Balance – a Tool Based on The 1st Law of Thermodynamics*.
- Horváth, János. 2013. *Laboratory and Plant Measurements on Anode Process in Aluminium Electrolysis*. Veszprém:

- Doctoral School in Chemical Engineering and Material Science – University of Pannon.
- Jose, L. Bernier I. R. 2006. *A Criterion for Selecting Fault Tolerant Weight Configurations in Multilayer Perceptrons*. TIC(&-1149(CICYT).
- Kementrian Perindustrian RI. 1983. *Gambaran dan Perkembangan Industri Aluminium Dunia*. Jakarta: Departemen Perindustrian.
- Makridakis, Spyros dan Wheelwright, Steven C. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Mann, Victor. _____. *Aluminium Technology & Production in Russia*. Rusia: Rusia Aluminium (RUSAL).
- Montgomery, D.C. Jennings C. L. dan Kulachi. 2008. *Introduction ti Time Series Analysis and Forecasting*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Mashitasari, Dewi. 2009. *Analisa Perbandingan Metode Eksponensial Winters dan Metode Dekomposisi Time Series (studi Kasus Angka Penjualan Kaos Kaki Sekolah)*. Surabaya: Skripsi – Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Murgulescu, Ilie. 2015. *Influence of The Operating Parameters Over The Current Efficiency and Corrosion Rate in The Hall–Heroult Aluminum Cell With Tin Oxide Anode Substrate Material*. Romania: Chinese Journal of Chemical Engineering – Material and Product Engineering. Pp 722-726.
- Notosuwarso, K.L.H. 2003. *Pembangunan Pabrik Aluminium Alloys Casthouse Kuala Tanjung-Sumatera Utara*. Jakarta: PT. Asahan Aluminium Alloys.
- Nuridin, A. R., A. Sameer, dan N. A. Badarulzaman. 2015. *A Short Review on Aluminium Smelting and Its Future Prospect in Malaysia Metal Industries*. International Journal of Integrated Engineering: faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering – Universiti Tun Hussien Onn Malaysia. Vol 7 No. 2 pp 1-4.

- Pakaja, F., Naba, A., Purwanto. (2012). *Peramalan Penjualan Mobil Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dan Certainty Factor*. Jurnal EECCIS. Vol.6, No.1, Juni 2012.
- Priyatno, Duwi. 2012. *Cara Kilat Belajar Analisis Data Dengan SPSS 20*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- PT Inalum (Persero). 2016. *Modul Pelatihan Operasi Tungku Reduksi*. Kuala tanjung: PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero).
- Raharja, Alda dkk. 2010. *Penerapan Metode Exponential Smoothing untuk Peramalan Penggunaan Waktu Telepon di PT. Telkomsel DIVRE3 Surabaya*. Jurnal Sistem Informasi: Sistem Informasi – FTIf ITS.
- Sarwono, Jonathan. 2006. *Analisis Data Penelitian Menggunakan SPSS 13*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Sarwono, Jonathan. 2012. *Metode Riset Skripsi Pendekatan Kuantitatif Menggunakan Prosedur SPSS*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Subagyo, Pangestu. 1986. *Forecasting Konsep dan Aplikasi*. Yogyakarta: BPFE.
- Suharjo, Bambang. 2008. *Analisis Regresi Terapan dengan SPSS*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sulaiman, Bambang. 2004. *Analisis Regresi Terapan dengan SPSS*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Solheim, Asbjørn., dkk. 2011. *Current Efficiency in Laboratory Aluminium Cells*. Norway: SINTEF Materials and Chemistry.
- Tikasz, L., Bui, dan V. Potocnik. 1994. *Aluminium Electrolytic Cells: A Computer Simulator for Training and Supervisions, Engineering with Computer*. Pp 12-21.
- The Jin Ai. 1999. *Optimasi Peramalan Pemulusan Eksponensial Satu Parameter Dengan Menggunakan Algoritma Nonlinier Programming*. Jurnal Teknologi Nasional, Vol. 111, No. 3, Hal. 139-148.
- Whitfield, Daniel., dkk. 2009. *Increase Current Efficiency of Potline 3 (P/L-3)*. Dubai: Dubal Aluminium Company Limited (DUBAL).

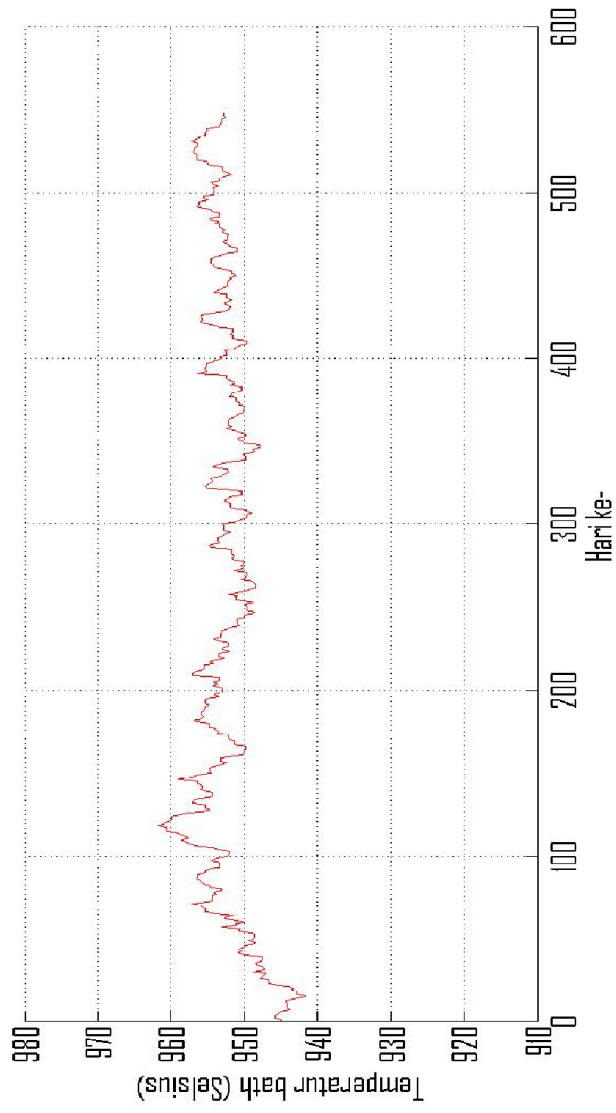
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran 1. Data *time series* efisiensi arus.



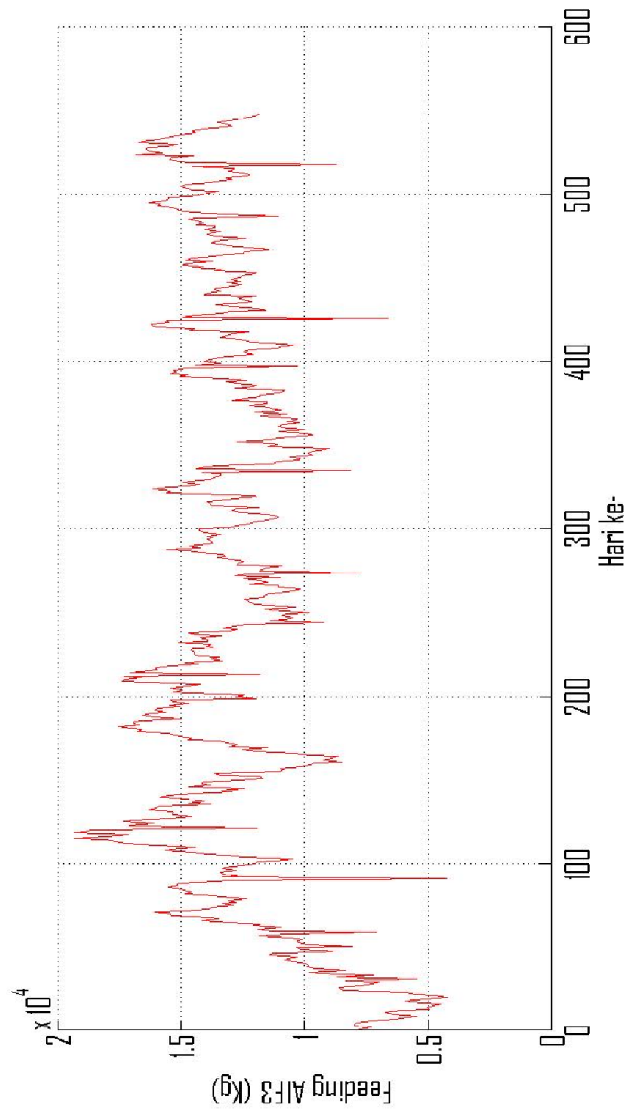
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran 2. Data *time series* temperatur bath.



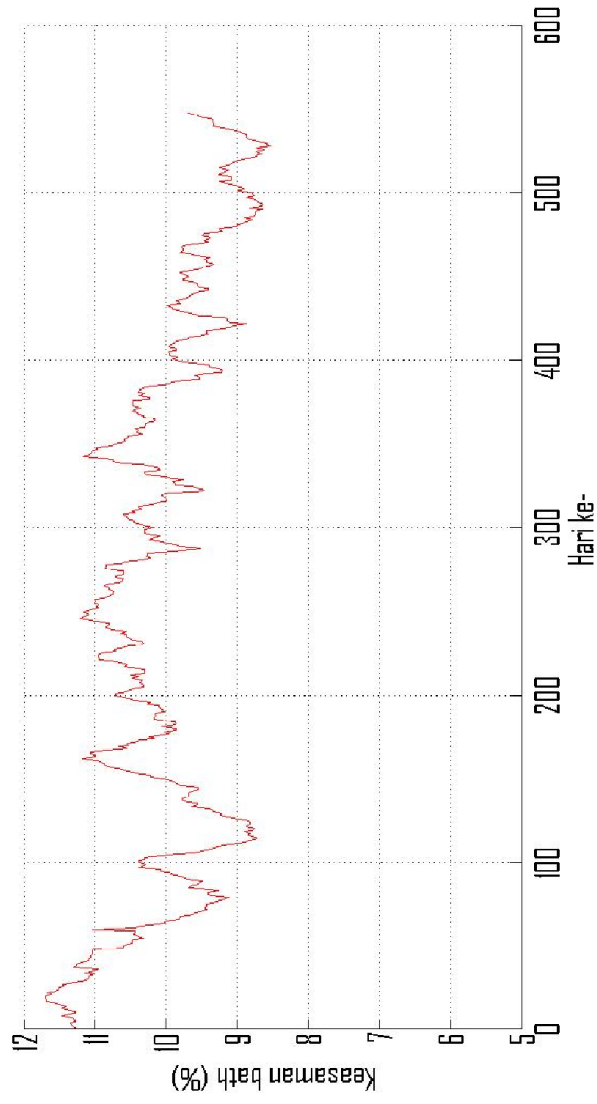
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran 3. Data time series *Feeding* AlF_3 .



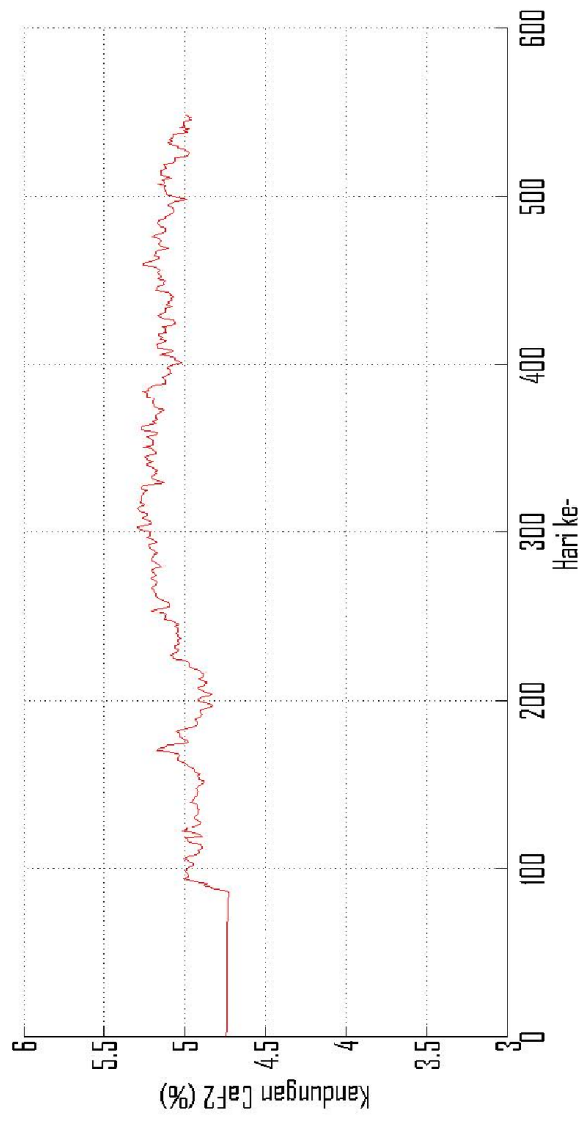
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran 4. Data time series keasaman bath.



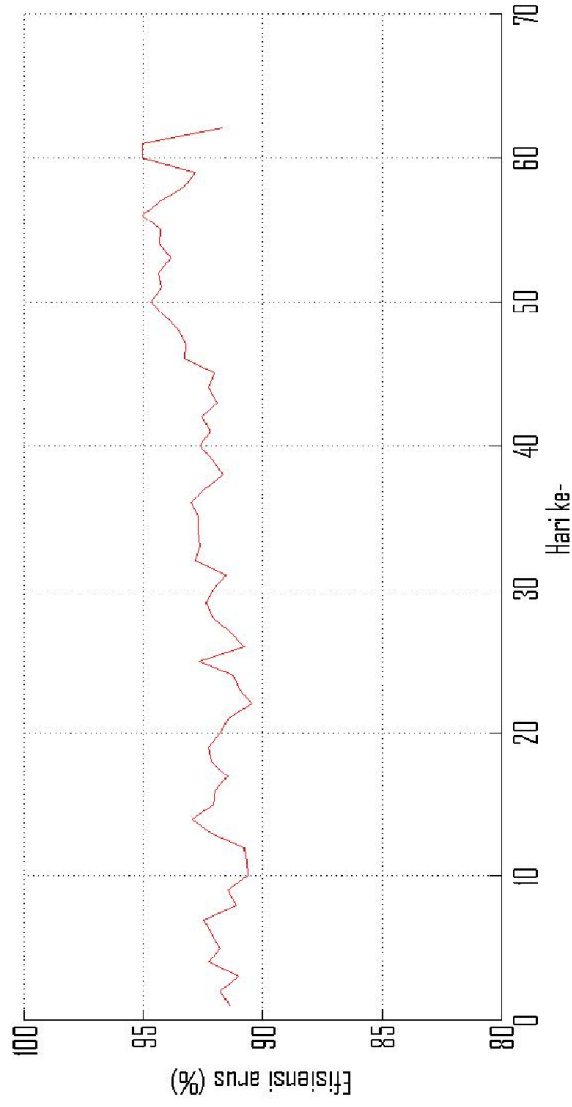
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran 5. Data *time series* kandungan CaF_2



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran 6. Data *time series* pembeding prediksi efisiensi pada 1 Juli hingga 31 Agustus 2016.



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran 7. Hasil pengolahan data menggunakan SPSS 23.

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CaF2, BT, Sa, AIF3 ^b		, Enter

a, Dependent Variable: CE

b, All requested variables entered,

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,554 ^a	,307	,302	1,104874

a, Predictors: (Constant), CaF2, BT, Sa, AIF3

b, Dependent Variable: CE

ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.,
1 Regression	293,841	4	73,460	60,176	,000 ^b
Residual	662,865	543	1,221		
Total	956,705	547			

a, Dependent Variable: CE

b, Predictors: (Constant), CaF2, BT, Sa, AIF3

Lampiran 7. (Lanjutan)

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	181,464	35,646		5,091	,000
BT	107-	,037	-,254	-2,908	,004
AIF3	,000345	,000038	,688	9,144	,000
Sa	1,157	,104	,652	11,112	,000
CaF2	-,708	,308	-,088	-2,301	,022

a, Dependent Variable: CE

Coefficients^a

Model	Collinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
1 (Constant)		
BT	,168	5,964
AIF3	,225	4,438
Sa	,370	2,702
CaF2	,866	1,155

a, Dependent Variable: CE

Lampiran 8. Hasil MAD dan MAPE pada pengolahan data *time series* efisiensi arus.

N0	α	β	γ	MAD	MAPE (%)
1	0,1	0,1	0,1	0,0116705	0,0126047
2	0,1	0,1	0,2	0,0116705	0,0126047
3	0,1	0,1	0,3	0,0116705	0,0126047
4	0,1	0,1	0,4	0,0116705	0,0126047
5	0,1	0,1	0,5	0,0116705	0,0126047
6	0,1	0,1	0,6	0,0116705	0,0126047
7	0,1	0,1	0,7	0,0116705	0,0126047
8	0,1	0,1	0,8	0,0116705	0,0126047
9	0,1	0,1	0,9	0,0116705	0,0126047
10	0,1	0,2	0,1	0,0115179	0,0123899
11	0,1	0,2	0,2	0,0115179	0,0123899
12	0,1	0,2	0,3	0,0115179	0,0123899
13	0,1	0,2	0,4	0,0115179	0,0123899
14	0,1	0,2	0,5	0,0115179	0,0123899
15	0,1	0,2	0,6	0,0115179	0,0123899
16	0,1	0,2	0,7	0,0115179	0,0123899
.
.
.
693	0,9	0,5	0,9	0,0017759	0,0019125
694	0,9	0,6	0,1	0,0017784	0,0019122
695	0,9	0,6	0,2	0,0017784	0,0019122
696	0,9	0,6	0,3	0,0017784	0,0019122
697	0,9	0,6	0,4	0,0017784	0,0019122
698	0,9	0,6	0,5	0,0017784	0,0019122
699	0,9	0,6	0,6	0,0017784	0,0019122
700	0,9	0,6	0,7	0,0017784	0,0019122
701	0,9	0,6	0,8	0,0017784	0,0019122
702	0,9	0,6	0,9	0,0017784	0,0019122
703	0,9	0,7	0,1	0,001793	0,0019247
704	0,9	0,7	0,2	0,001793	0,0019247
705	0,9	0,7	0,3	0,001793	0,0019247
706	0,9	0,7	0,4	0,001793	0,0019247
707	0,9	0,7	0,5	0,001793	0,0019247
708	0,9	0,7	0,6	0,001793	0,0019247
709	0,9	0,7	0,7	0,001793	0,0019247
710	0,9	0,7	0,8	0,001793	0,0019247
711	0,9	0,7	0,9	0,001793	0,0019247

Lampiran 8. (Lanjutan)

712	0,9	0,8	0,1	0,0018202	0,0019508
713	0,9	0,8	0,2	0,0018202	0,0019508
714	0,9	0,8	0,3	0,0018202	0,0019508
715	0,9	0,8	0,4	0,0018202	0,0019508
716	0,9	0,8	0,5	0,0018202	0,0019508
717	0,9	0,8	0,6	0,0018202	0,0019508
718	0,9	0,8	0,7	0,0018202	0,0019508
719	0,9	0,8	0,8	0,0018202	0,0019508
720	0,9	0,8	0,9	0,0018202	0,0019508
721	0,9	0,9	0,1	0,0018461	0,0019756
722	0,9	0,9	0,2	0,0018461	0,0019756
723	0,9	0,9	0,3	0,0018461	0,0019756
724	0,9	0,9	0,4	0,0018461	0,0019756
725	0,9	0,9	0,5	0,0018461	0,0019756
726	0,9	0,9	0,6	0,0018461	0,0019756
727	0,9	0,9	0,7	0,0018461	0,0019756
728	0,9	0,9	0,8	0,0018461	0,0019756

RIWAYAT PENULIS



Riyan Yefta Purba lahir di Tebing Tinggi, Sumatera Utara pada tanggal 16 Januari 1996. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan suami istri bernama Raja Purba dan Kinta Rusmina Sihombing. Pendidikan dimulai pada TK Mitra Inalum, Tanjung Gading, Kecamatan Sei Suka, Kabupaten Batu Bara, SD Negeri 016396 Kecamatan Sei Suka, Kabupaten Batu Bara (2001-2007), SMP Negeri 1 Kota Tebing Tinggi (2007-2010), SMA Negeri 1 Kota Tebing Tinggi (2010-2013). Kemudian penulis meneruskan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2013 hingga 2016.

Selama perkuliahan penulis pernah terlibat menjadi staff departemen Riset dan Teknologi divisi Roboboat periode 2013/2015, tim elektronik Barunastra ITS, ketua Persekutuan Doa Fisika ITS periode 2014/2016, volunteer SOSMAS BEM ITS. Penulis juga terlibat dalam kepanitiaan yaitu KESMA EXPO, Natal Paskah ITS.

Kegiatan penulis di bidang akademik berupa asisten Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika di mata kuliah Elektronika Dasar I dan Elektronika dasar 2 mulai dari semester 4 hingga semester 6. Di tahun 2016 penulis berkesempatan untuk bekerja Praktik di PT Inalum (Persero) di bagian Departemen Smelter Reduction Preparation. Pada masa kerja praktek penulis memilih untuk mempelajari sistem otomasi pada tungku reduksi.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”